



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO
TOCANTINS**

CAMPUS PALMAS

CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA CIVIL

GUSTAVO VALADARES JALLES

**ROTEIROS DE COLETA SELETIVA NO MUNICÍPIO DE PALMAS-TO: UMA
PROPOSTA DE OTIMIZAÇÃO**

PALMAS - TO

2023

GUSTAVO VALADARES JALLES

**ROTEIROS DE COLETA SELETIVA NO MUNICÍPIO DE PALMAS-TO: UMA
PROPOSTA DE OTIMIZAÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
como requisito parcial para obtenção do Título de
Engenheiro Civil do Curso Superior de
Engenharia Civil do Instituto Federal do
Tocantins, Campus Palmas.

Orientador: Prof.^a Dra. Cláudia da Silva Aguiar
Rezende
Coorientador: Prof.^o Dr. Carlos Eduardo da Silva
Santos

PALMAS - TO

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Bibliotecas do Instituto Federal do Tocantins

J26r Jalles, Gustavo Valadares
Roteiros de Coleta Seletiva no município de Palmas-TO: Uma proposta de otimização / Gustavo Valadares Jalles. – Palmas, TO, 2023.
103 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins, Campus Palmas, Palmas, TO, 2023.

Orientadora: Prof^a. Dra. Cláudia da Silva Aguiar Rezende
Coorientador: Prof^o. Dr. Carlos Eduardo da Silva Santos

1. Coleta Seletiva. 2. Otimização. 3. Problema do Caixeiro Viajante. I. da Silva Aguiar Rezendes, Claudia. II. da Silva Santos, Carlos Eduardo.

CDD 624

A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio, deste documento é autorizada para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica do IFTO com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

FOLHA DE APROVAÇÃO

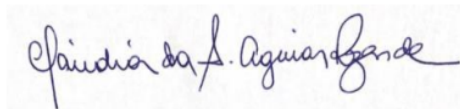
GUSTAVO VALADARES JALLES

ROTEIROS DE COLETA SELETIVA NO MUNICÍPIO DE PALMAS-TO: UMA PROPOSTA DE OTIMIZAÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Coordenação do curso
de Engenharia Civil do Instituto Federal
do Tocantins- *Campus* Palmas, como
exigência à obtenção do grau em
Engenharia Civil.

Aprovado em: 29/05/2023

BANCA AVALIADORA



Prof^a. Dra. Cláudia da Silva Aguiar Rezende
Professora Orientadora (IFTO)

Prof^o. Dr. Carlos Eduardo da Silva Santos
Professor Co-orientador (IFTO)

Documento assinado digitalmente
 THIAGO DIAS DE ARAUJO E SILVA
Data: 07/06/2023 15:02:55-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof^o. Dr. Thiago Dias de Araújo e Silva
Professor Avaliador 1

Documento assinado digitalmente
 MARCELO DA GAMA GRISON
Data: 09/06/2023 15:16:45-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Biólogo Me. Marcelo da Gama Grison
Biólogo Avaliador 2 (Fundação de Meio Ambiente de Palmas)

RESUMO

Após a Revolução Industrial, o consumo de recursos naturais aumentou, resultando em mais resíduos sendo gerados. Diante dessa problemática, a coleta seletiva é uma medida fundamental para que ocorra a adequada disposição final de materiais recicláveis, tais como papéis, plásticos, vidros, metais e orgânicos. Apesar de necessária, essa iniciativa é muito cara, uma vez que o custo da coleta seletiva é muito superior ao da coleta convencional, tendo em vista os gastos com diesel e manutenção dos caminhões. Portanto, este estudo propôs a otimização das rotas de coleta seletiva pública existentes a partir do Problema do Caixeiro Viajante e com o auxílio de algoritmos matemáticos para facilitar encontrar uma resolução ótima com o intuito de reduzir os custos e tornar esse processo mais viável. Os resultados apresentam uma economia de 1.500 quilômetros a menos por ano e quase 9.000 reais por ano a menos com diesel, sem contar com a provável redução nas manutenções dos caminhões, os quais, por rodar menos, estarão menos sujeitos a ter problemas.

Palavras-chave: Coleta Seletiva, Otimização, Problema do Caixeiro Viajante

ABSTRACT

After the Industrial Revolution, the consumption of natural resources increased, resulting in more waste being generated. Faced with this problem, selective collection is a fundamental measure for the proper final disposal of recyclable materials, such as paper, plastic, glass, metal and organic materials. Although necessary, this initiative is very expensive, since the cost of selective collection is much higher than that of conventional collection, considering the expenses with diesel and truck maintenance. Therefore, this study proposed the optimization of existing public selective collection routes based on the Traveling Salesman Problem and with the aid of mathematical algorithms to facilitate finding an optimal resolution in order to reduce costs and make this process more viable. The results show an economy of 1,500 kilometers less per year and almost 9,000 reais per year less with diesel, not counting the probable reduction in truck maintenance, which, because they run less, will be less subject to problems.

Keywords: Selective Collection, Optimization, Travelling Salesman Problem

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Geração de Resíduos em 2012 e 2022	15
Figura 2 - População brasileira em 2012 e 2022	15
Figura 3 – Participação das regiões na geração de RSU (%)	16
Figura 4 – Cobertura dos serviços de coleta de RSU (%)	16
Figura 5 – Gravimetria Nacional dos RSU	19
Figura 6 – Proporcionalidade ao longo dos anos	27
Figuras 7 – Lista de fatoriais	28
Figuras 8 – Localização de Palmas no estado do Tocantins	28
Figuras 9 – Estação de Coleta de Resíduos	34
Figuras 10 – Rotas no Google Maps	37

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Índice de crescimento da Coleta Seletiva	26
Quadro 2 – Lista dos Ecopontos de Palmas	35
Quadro 3 – Rotas da Coleta Seletiva	36
Quadro 4 – Coordenadas dos pontos da matriz Segunda-feira e Quinta-feira	38
Quadro 5 – Matriz Segunda-feira e Quinta-feira	38
Quadro 6 – Coordenadas dos pontos da matriz Terça-feira e Sexta-feira	38
Quadro 7 – Matriz Terça-feira e Sexta-feira	39
Quadro 8 – Coordenadas dos pontos da matriz Quarta-feira e Sábado	39
Quadro 9 – Matriz Quarta-feira e Sábado	39
Quadro 10 – Linha 1 da Matriz Segunda-feira e Quinta-feira	40
Quadro 11 – Agrupamento dos resultados da Rota Segunda-feira e Quinta-feira	44
Quadro 12 – Agrupamento dos resultados da Rota Terça-Feira e Sexta-Feira	45
Quadro 13 – Agrupamento dos resultados da Rota Quarta-Feira e Sábado	46

LISTA DE SIGLAS E ABREVIACÕES

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

Abrelpe – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

FMA – Fundação do Meio Ambiente

FUNASA - Fundação Nacional de Saúde

IBAM – Instituto Brasileiro de Administração Pública

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IBRAOP – Instituto Brasileiro de Auditoria de Obras Públicas

IFTO – Instituto Federal do Tocantins

MMA – Ministério do Meio Ambiente

PNRS – Política Nacional de Resíduos Sólidos

RSU – Resíduos Sólidos Urbanos

Seisp – Secretaria Municipal de Infraestrutura e Serviços Públicos

Sisnama – Sistema Nacional de Meio Ambiente

SNVS – Sistema Nacional de Vigilância Sanitária

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
1.1 Problema da pesquisa	11
1.2 Justificativa	12
1.3 Objetivos	12
1.3.1 Objetivo geral	12
1.3.2 Objetivos específicos	12
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
2.1 Resíduos sólidos urbanos	13
2.1.1 Definição	13
2.1.2 Classificação	13
2.1.2.1 Classificação quanto à natureza ou origem	13
2.1.2.2 Classificação quanto à periculosidade	14
2.1.3 Geração e coleta de resíduos sólidos urbanos	14
2.1.4 Características dos resíduos sólidos urbanos	17
2.1.4.1 Características físicas	17
2.1.4.2 Características químicas	21
2.1.4.3 Características biológicas	22
2.2 Gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos	22
2.2.1 Métodos de tratamentos dos Rsu	23
2.2.2 Disposição dos resíduos sólidos urbanos	24
2.3 Coleta seletiva	25
2.3.1 Geração de empregos	27
2.4 Problema do caixeiro viajante (PCV)	28
2.5 Solução adotada	29
2.5.1 Algoritmo vizinho mais próximo	29
2.5.2 Algoritmo de inserção	30

2.5.3	Algoritmos de otimização	30
2.5.4	Algoritmo de realocar posições	31
2.5.5	Algoritmo de trocar de posições	31
2.5.6	Solver do excel	31
3.	METODOLOGIA	33
3.1.1	Localização da área de estudo	33
3.2	Ecopontos	34
3.3	Coleta de dados	35
3.4	Roteiros	36
3.5	Matriz de distâncias	37
3.6	Distância percorrida nas rota existentes	39
3.7	Algoritmos auxiliares	40
3.7.1	Algoritmo de Vizinho Mais Próximo	41
3.7.2	Algoritmo de Inserção Mais Econômica	41
3.7.3	Algoritmo de Realocar Posições	42
3.7.4	Algoritmo de Trocar Posições	42
3.7.5	Algoritmo solver do excel	42
4.	RESULTADOS	44
5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	47
6.	REFERÊNCIAS	48

1. INTRODUÇÃO

A migração da população rural para as áreas urbanas, aliada ao crescimento populacional, resultou em um aumento significativo na produção de resíduos sólidos urbanos (RSU) e na formação de redes urbanas cada vez mais complexas (MELQUIADES, 2015). De acordo com o censo demográfico de 2010 realizado pelo IBGE, foi constatado um aumento de 31,10% na população vivendo em áreas urbanas entre os anos de 1991 e 2010, enquanto que na zona rural houve uma diminuição de 17,23%, mesmo com o crescimento populacional de mais de 43 milhões de pessoas durante esse período. Esse aumento populacional tem gerado novas necessidades ambientais e, conseqüentemente, aumento na produção de resíduos, tornando a coleta e destinação desses materiais cada vez mais objeto de debates e discussões.

Conforme afirmado pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA), a urbanização e a industrialização têm sido responsáveis por transformar a gestão de resíduos em um problema, visto que a sociedade tem interferido nos ciclos naturais sem fazer a destinação adequada dos materiais produzidos, além de explorar cada vez mais os recursos naturais. Isso resulta em uma quantidade excessiva de resíduos gerados pela população, que muitas vezes não são coletados de forma adequada pelo sistema urbano. Diante desse cenário, torna-se essencial implementar práticas de gerenciamento de resíduos sólidos, a fim de minimizar os impactos ambientais, reduzir custos operacionais e proteger a saúde humana (Cunha e Caixeta, 2002).

De acordo com a Abrelpe (2022), a quantidade de resíduos sólidos urbanos gerados no país foi de aproximadamente 81,8 milhões de toneladas. O montante coletado atingiu 76,1 milhões de toneladas, indicando uma taxa de cobertura de coleta de 93%. Do total coletado, 61% são destinados a aterros sanitários, enquanto 39% vão para lixões ou aterros controlados. Em relação à coleta seletiva, 75% dos municípios brasileiros adotam algum tipo de sistema, embora seja destacado no estudo que, frequentemente, essa medida não abrange toda a área do município.

A coleta seletiva é uma estratégia amplamente incentivada pelo governo como forma de realizar a destinação ambientalmente adequada de resíduos, sendo considerada um instrumento previsto pela Lei 12.305 (BRASIL, 2010). Consiste na coleta dos resíduos previamente separados pela população, com o propósito de facilitar o trabalho dos triadores e aumentar a taxa de reaproveitamento dos resíduos sólidos urbanos descartados por meio do processo de reciclagem.

A PNRS também incentiva o uso de serviços de associações ou cooperativas de catadores de resíduos sólidos urbanos para realização do sistema de coleta seletiva devido a questões sociais e econômicas, pois gera uma renda para uma parcela da sociedade sem condições financeiras muitas vezes marginalizadas ou até mesmo excluída do ciclo social.

A coleta seletiva pública no município de Palmas-TO é realizada duas vezes por semana por meio do Programa Renova Palmas, da Fundação Municipal de Meio Ambiente (FMA), que é responsável pela gestão da Coleta Seletiva na Capital. Os resíduos depositados nos ecopontos são recolhidos e levados a uma associação ou cooperativa de reciclagem parceira. O programa recebe materiais como papel/papelão, plástico, metal e vidro em contêineres espalhados por toda a cidade, com indicação de que material pode ser depositado em cada um dos coletores. De acordo com informações da Prefeitura de Palmas em 2021, 28.863 quilos de resíduos sólidos foram devidamente separados ao invés de irem para o aterro sanitário do município graças à implementação do programa.

A coleta seletiva pública é realizada em parceria com a Secretaria Municipal de Infraestrutura e Serviços Públicos (Seisp), que disponibiliza um caminhão para o recolhimento do material nos ecopontos, além das cooperativas e associações de catadores. Cada semana, um representante de uma associação ou cooperativa acompanha a coleta, de acordo com uma escala pré-definida pela coordenação do Programa Renova Palmas.

A coleta realizada pelos catadores pode ser denominada como uma coleta especializada, uma vez que há a necessidade de atender demandas, cumprir prazos e rotas preestabelecidas. No entanto, as cooperativas enfrentam desafios em relação aos custos de realização do processo, especialmente no que se refere à manutenção dos caminhões utilizados, que apresentam alto consumo de diesel e exigem manutenção periódica (SILVA, 2017).

De acordo com Melquiades (2015), a otimização dos processos de roteirização dos caminhões de coleta e a sensibilização da população sobre seu papel no funcionamento desse processo são de extrema importância para melhorar o serviço e aumentar a renda das cooperativas.

1.1 PROBLEMA DA PESQUISA

A coleta seletiva é uma prática fundamental para o meio ambiente e a sustentabilidade, porém, a eficiência e a rentabilidade do serviço de coleta seletiva dependem da otimização dos processos de roteirização dos caminhões de coleta. Dessa forma, o presente trabalho de conclusão de curso tem como objetivo avaliar a importância da criação de roteiros mais otimizados para a coleta seletiva, levando em consideração aspectos técnicos, sociais e ambientais, e propondo soluções para aprimorar a efetividade do serviço. A pesquisa é relevante

para a área de gestão ambiental e pode contribuir para o desenvolvimento de políticas públicas e aprimoramento de práticas sustentáveis em cooperativas de reciclagem e empresas de coleta seletiva.

1.2 JUSTIFICATIVA

A otimização dos roteiros de coleta seletiva é uma medida importante para aprimorar a eficiência e eficácia do processo de coleta de resíduos recicláveis. Através da análise dos roteiros atuais, é possível identificar possíveis falhas na operação, tais como sobreposição de áreas, deficiência na cobertura de determinados bairros, entre outras questões. Ao propor melhorias nos roteiros, é possível maximizar a coleta de materiais recicláveis, aumentando a quantidade de resíduos destinados à reciclagem e, conseqüentemente, contribuindo para a preservação do meio ambiente e a promoção da sustentabilidade. Além disso, a otimização dos roteiros de coleta seletiva também pode resultar em economias financeiras, reduzindo custos com combustíveis e horas extras dos funcionários responsáveis pela coleta.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Analisar a possibilidade da otimização dos roteiros de coleta seletiva pública adotados pelo município de Palmas-TO

1.3.2 Objetivos Específicos

- Realizar o levantamentos dos Ecopontos e sua localização geográfica;
- Analisar os roteiros utilizados na coleta seletiva pública no município de Palmas-TO;
- Encontrar uma rota ótima da coleta seletiva com emprego de técnicas clássicas de otimização de rotas.
- Modelar o problema das rotas da coleta seletiva como um PCV.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Resíduos Sólidos Urbanos

2.1.1 Definição

A Lei n.º 12.305/2010, também conhecida como Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), é uma lei federal brasileira que estabelece as diretrizes para a gestão integrada e o gerenciamento de resíduos sólidos no país. Ela tem como principais objetivos a proteção da saúde pública, a preservação ambiental, a promoção da qualidade de vida da população e o estímulo à economia sustentável.

Dentre as principais diretrizes estabelecidas pela PNRS, destacam-se a redução da geração de resíduos sólidos, o estímulo à reciclagem e à reutilização, a disposição final ambientalmente adequada dos resíduos e a promoção da inclusão social dos catadores de materiais recicláveis.

Conforme consta na lei n.º 12.305/2010, a definição de resíduos sólidos é:

O material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgoto ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnicas ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível.

2.1.2 Classificação

Os resíduos sólidos podem ser classificados de acordo com a PNRS, Título III, Capítulo I, Art. 13, das seguinte formas:

2.1.2.1 Classificação quanto à natureza ou origem

- a) resíduos domiciliares: gerados por atividades domésticas em residências urbanas;
- b) resíduos de limpeza urbana: gerados por varrição, limpeza de ruas e vias públicas e outros serviços de limpeza urbana;
- c) resíduos industriais: gerados nos processos produtivos e instalações industriais;
- d) resíduos de serviços de saúde: gerados nos serviços de saúde, conforme definido em regulamento ou em normas estabelecidas pelos órgãos do Sisnama e do SNVS;

e) resíduos da construção civil: gerados nas construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, incluídos os resultantes da preparação e escavação de terrenos para obras civis;

f) resíduos agrossilvopastoris: gerados nas atividades agropecuárias e silviculturais, incluídos os relacionados a insumos utilizados nessas atividades;

g) resíduos de serviços de transportes: gerados em portos, aeroportos, terminais alfandegários, rodoviários e ferroviários e passagens de fronteira;

h) resíduos de mineração: gerados na atividade de pesquisa, extração ou beneficiamento de minérios;

2.1.2.2 Classificação quanto á periculosidade

a) resíduos perigosos: aqueles que, em razão de suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, patogenicidade, carcinogenicidade, teratogenicidade e mutagenicidade, apresentam significativo risco à saúde pública ou à qualidade ambiental, de acordo com lei, regulamento ou norma técnica;

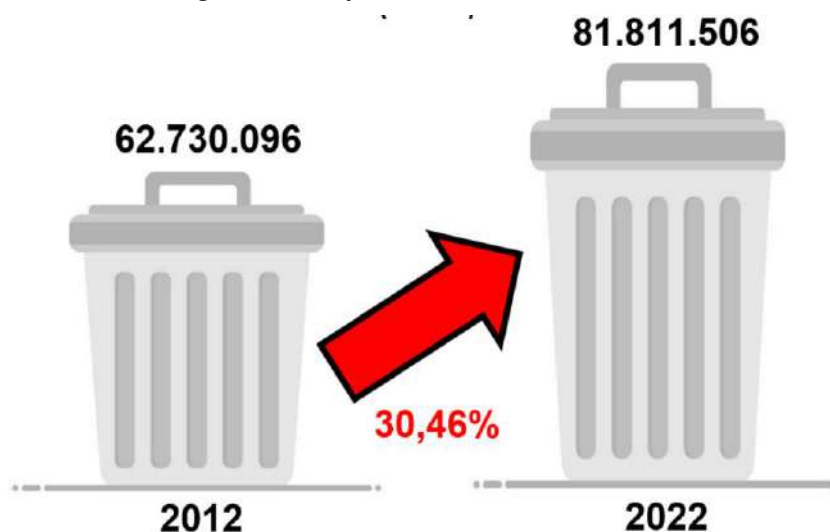
b) resíduos não perigosos: aqueles não enquadrados classificação acima.

2.1.3 Geração e Coleta de Resíduos Sólidos Urbanos

A gestão dos resíduos sólidos no Brasil é um desafio constante, dada a dimensão territorial e a densidade populacional do país. Além disso, o modelo de desenvolvimento econômico adotado no país nas últimas décadas tem incentivado o consumo desenfreado, resultando em grandes quantidades de resíduos gerados. Nesse sentido, a gestão adequada dos resíduos sólidos torna-se ainda mais crucial para minimizar o impacto ambiental decorrente do consumo excessivo.

Através de uma análise comparativa feita entre os Panorama de Resíduos Sólidos de 2012 e de 2022, ambos realizados pela Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE), é possível perceber que houve uma produção de 62,7 e 81,8 milhões de toneladas no ano, respectivamente. Conforme ilustrado na Figura 1, esse valor significa um aumento de 30,46% na produção de resíduos sólidos ao longo da última década.

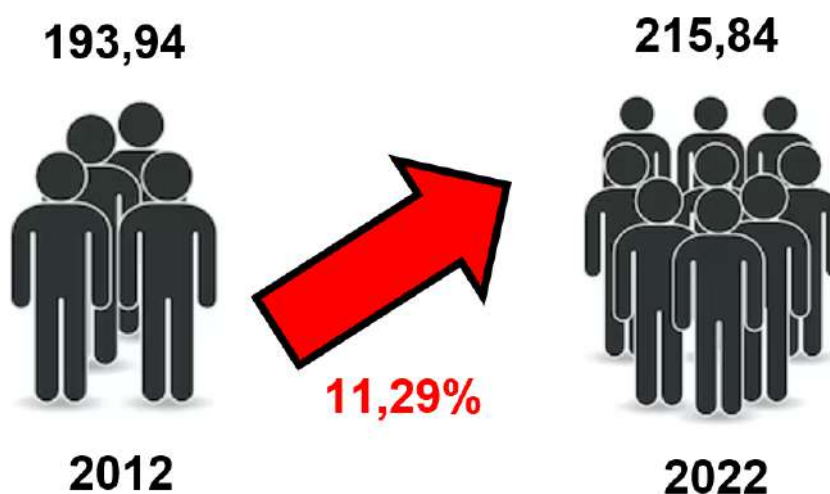
Figura 1 – Geração de Resíduos em 2012 e 2022



Fonte: Abrelpe 2012 e 2022

Ao realizar essa mesma análise para o crescimento populacional, segundos dados do IBGE, a população cresceu de 193,94 para 215,84 milhões de pessoas. Conforme ilustrado na Figura 2, houve um aumento de 11,29%, ou seja, a taxa de produção de resíduos sólidos está crescendo quase que três vezes a taxa de crescimento populacional.

Figura 2 – População brasileira em 2012 e 2022



Fonte: Pesquisa IBGE (2023)

De acordo com o Panorama de 2022, mantendo o mesmo comportamento de 2012, a região com maior geração de resíduos continua sendo a Sudeste, com cerca de 111 mil toneladas diárias (aproximadamente 50% da geração do país) e uma média de 450 kg/hab/ano, enquanto a região Centro-Oeste representa pouco mais de 7% do total gerado, com cerca de 6 milhões de toneladas/ano, a menor dentre as regiões, conforme ilustrado na Figura 3.

Figura 3 – Participação das regiões na geração de RSU (%)

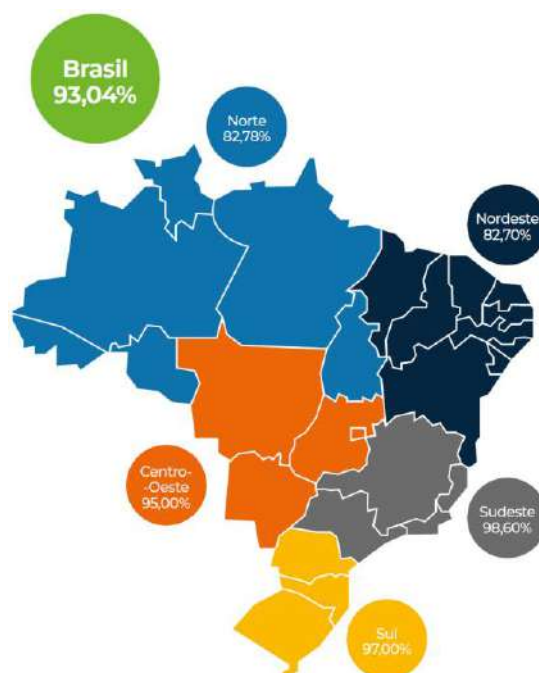


Fonte: Abrelpe (2022)

Em termos de geração diária por habitante, as variações regionais mostram-se bastante latentes, com a região Sudeste apresentando uma geração média de 1,234 kg/hab/dia, a maior do país e, na outra ponta, a região Sul com uma média de 0,776 kg/hab/dia.

Seguindo com a análise, houve um aumento de 2,83% na área de cobertura dos serviços de coleta de RSU em 2022 relativamente a 2012. O país registrou um total de 76,1 milhões de toneladas coletadas, levando a uma cobertura de coleta de 93%, conforme ilustrado na Figura 4, o que indica que o país caminha, ao menos, para universalizar esses serviços.

Figura 4 – Cobertura dos serviços de coleta de RSU (%)



Fonte: Abrelpe (2022)

Importante ressaltar que, enquanto as regiões Sudeste, Sul e Centro-Oeste já alcançaram índice de cobertura de coleta superior à média nacional, as regiões Norte e Nordeste ainda apresentam índices que se aproximam de 83%, deixando boa parte da população sem acesso aos serviços de coleta regular de RSU nessas regiões.

2.1.4 Características dos resíduos sólidos urbanos

As características dos RSU gerados variam de uma população para outra, dependendo de suas culturas, situações socioeconômicas, aspectos climáticos, migrações, turismo e hábitos de vida (FUNASA, 2007). Ao longo do tempo, as características dos RSU sofrem alterações, tornando essencial a realização de programas periódicos de caracterização, de preferência ao longo do ano, em função do tamanho populacional, com o objetivo de atualizar os dados e adaptar o sistema de gerenciamento de resíduos sólidos a essas transformações.

As propriedades dos resíduos sólidos urbanos podem ser agrupadas em três categorias distintas, nomeadamente: biológicas, químicas e físicas. Dentre essas categorias, as propriedades físicas exercem maior impacto no dimensionamento do sistema de coleta e disposição, especialmente quando há a existência de um programa de coleta seletiva e reciclagem. Isso ocorre porque as características físicas dos resíduos sólidos urbanos influenciam diversos aspectos da gestão desses materiais. (SOARES, 2011).

2.1.4.1 Características físicas

A caracterização física é considerada a mais importante, pois gera conhecimento indispensável na gestão adequada dos serviços de limpeza e, possibilita a obtenção do índice de geração *per capita*, o peso específico aparente, teor de umidade, a compressividade e a composição gravimétrica (IPT, 2000).

2.1.4.1.1 Composição gravimétrica

A fim de promover uma gestão e gerenciamento mais efetivos dos resíduos sólidos urbanos nos municípios brasileiros, é fundamental, em primeiro lugar, obter conhecimento acerca do que é produzido. Nesse sentido, a caracterização gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos assume importância primordial.

Segundo a ABNT- NBR 10.007/2004, a caracterização gravimétrica é a determinação dos constituintes e de suas respectivas percentagens em peso e volume, em uma amostra de resíduos sólidos, podendo ser físico, químico e biológico.

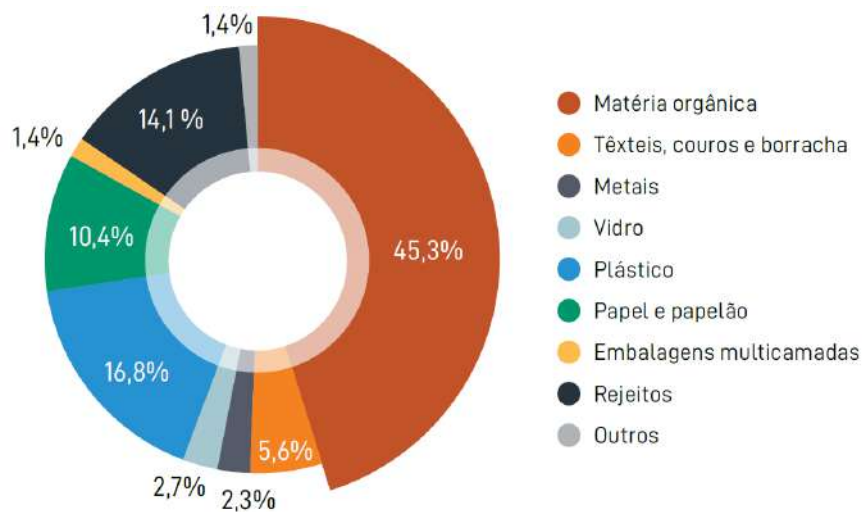
A obtenção do conhecimento acerca da composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos possibilita uma avaliação inicial acerca da capacidade de degradação, do potencial de impacto ambiental, das perspectivas de reutilização, reciclagem, valorização energética e orgânica desses materiais. Assim, tal conhecimento é de suma importância na determinação das tecnologias mais apropriadas para o tratamento e disposição final dos resíduos.

No que se refere aos fatores que podem afetar o resultado final de uma pesquisa de caracterização, deve-se considerar, por exemplo, a influência da sazonalidade. Tal aspecto pode levar a conclusões incorretas sobre a contribuição real de um determinado parâmetro para a quantidade total de resíduos sólidos urbanos gerados na cidade. É possível supor, por exemplo, que durante períodos de chuvas intensas, o teor de umidade dos resíduos sólidos urbanos aumente, assim como o percentual de latinhas de cerveja e vidro durante o carnaval, ou ainda o número de folhas de árvores coletadas durante o outono. A escolha adequada da época para coleta e a repetição consistente do processo ao longo dos anos são fatores que garantem a confiabilidade e reprodutibilidade dos dados obtidos.

A literatura apresenta diferentes métodos para estudar a composição gravimétrica dos resíduos urbanos, a maioria baseada no quarteamento da amostra. Um desses métodos, descrito por Pessin et al. (2002), consiste em descarregar os resíduos em uma manta plástica, coletar quantidades em cinco pontos, preencher quatro tonéis de 200 litros cada um, despejá-los em uma lona plástica e dividir em quatro partes. Duas partes são descartadas e o quarteamento é repetido nas partes restantes até se obter uma amostra final de 200 ou 100 litros, na qual se realiza a separação e pesagem dos materiais por componente.

No Brasil, a gravimetria nacional foi estimada com base na média ponderada a partir da geração total de RSU por faixa de renda dos municípios e suas respectivas gravimetrias, levando-se em consideração a população e geração *per capita* conforme a Figura 5 (ABRELPE, 2020).

Figura 5 – Gravimetria Nacional dos RSU



Fonte: Abrelpe (2020)

Observa-se que a fração orgânica continua sendo o principal componente dos resíduos sólidos urbanos, com uma participação de 45,3% no total. Os resíduos recicláveis secos correspondem a 35%, sendo predominantemente compostos por plásticos (16,8%), papel e papelão (10,4%), além de vidros (2,7%), metais (2,3%) e embalagens multicamadas (1,4%). Os rejeitos representam 14,1% do total e incluem principalmente materiais sanitários. Além disso, outras frações são compostas por resíduos têxteis, couros e borrachas, com 5,6%, e outros tipos de resíduos, também com 1,4%, que incluem vários materiais que teoricamente seriam objetos de logística reversa.

2.1.4.1.2 Teor de umidade

A umidade representa a quantidade de água presente no resíduo, medida em percentual do seu peso. Este parâmetro se altera em função da composição granulométrica inicial, as condições climáticas, o grau de decomposição biológica e do próprio funcionamento do sistema de drenagem do aterro de efluentes líquidos (chorume) e gasosos, podendo-se estimar um teor de umidade variando em torno de 40 a 60%.

O teor de umidade influencia diretamente a velocidade de decomposição da matéria orgânica no processo de compostagem. Afeta o poder calorífico e o peso específico aparente do RS, concorrendo de forma indireta para o correto dimensionamento de incineradores e usinas de compostagem. Sua determinação é importante para o cálculo da produção de chorume e o correto dimensionamento do sistema de coleta de percolados (SÁ, 2012).

2.1.4.1.3 Peso específico aparente

Peso específico aparente é o peso do RS solto em função do volume ocupado livremente, sem qualquer compactação, expresso em kg/m³. Sua determinação é fundamental para o dimensionamento de equipamentos e instalações. Na ausência de dados mais precisos, podem-se utilizar os valores de 230kg/m³ para o peso específico do RS domiciliar, de 280 kg/m³ para o peso específico dos resíduos de serviços de saúde e de 1.300 kg/m³ para o peso específico de entulho de obras. O peso específico é fundamental para o correto dimensionamento da frota de coleta, assim como de contêineres e caçambas estacionárias (SÁ, 2012).

Existe uma relação direta entre a composição dos resíduos sólidos e o valor do peso específico. Se houver mais componentes leves, como papel, papelão e plásticos, ou menos lixo úmido, que é matéria orgânica, o peso específico será menor. Isso significa que áreas mais ricas, com maior quantidade de supérfluos, tendem a ter um peso específico menor em comparação com áreas mais pobres, com maior quantidade de matéria orgânica.

2.1.4.1.4 Compressividade

Compressividade é o grau de compactação ou a redução do volume que uma massa de lixo pode sofrer quando compactada. Submetido a uma pressão de 4 kg/cm², o volume do lixo pode ser reduzido de um terço (1/3) a um quarto (1/4) do seu volume original (SÁ, 2012).

A compressibilidade é um fator crucial no dimensionamento de veículos coletores, estações de transferência com compactação e caçambas compactadoras estacionárias, sendo diretamente relacionada ao fenômeno do recalque em aterros. O recalque é uma deformação vertical decorrente de cargas externas ou do próprio peso dos resíduos. A avaliação do recalque é fundamental para a manutenção da integridade dos sistemas de revestimento, cobertura e drenagem de percolados e gases, assim como para estudos de reaproveitamento das áreas após o fechamento. Quando combinado com o monitoramento físico-químico dos resíduos, o monitoramento do recalque permite o estabelecimento de correlações entre o recalque e a degradação dos resíduos, além de permitir a identificação de falhas e instabilidades na massa de resíduos por meio de trincas na cobertura de bermas e taludes.

2.1.4.1.5 Geração *per capita*

A geração *per capita* relaciona a quantidade de resíduos urbanos gerada diariamente e o número de habitantes de uma determinada região. A geração *per capita* é um parâmetro fundamental para o dimensionamento do volume de resíduos a coletar e a dispor, é importante para o

dimensionamento de veículos e para a determinação da taxa de coleta, bem como para o correto dimensionamento de todas as unidades que compõem o Sistema de Limpeza Urbana (SÁ, 2012).

Segundo o Panorama 2022 da Abrelpe, cada brasileiro produziu, em média, 1,043 kg de resíduos por dia. As variações regionais mostram-se bastante latentes, com a região Sudeste apresentando uma geração média de 1,234 kg/hab/dia, a maior do país e, na outra ponta, a região Sul com uma média de 0,776 kg/hab/dia.

2.1.4.2 Características químicas

O conhecimento das características químicas possibilita a seleção de processos de tratamentos e técnicas de disposição final (SÁ, 2012).

2.1.4.2.1 Poder calorífico

Esta característica química indica a capacidade potencial de um material desprender determinada quantidade de calor quando submetido à queima. O poder calorífico médio do lixo domiciliar se situa na faixa de 5.000kcal/kg. O poder calorífico influencia o dimensionamento das instalações de todos os processos de tratamento térmico (incineração, pirólise e outros) (SÁ, 2012).

2.1.4.2.2 Potencial hidrogeniônico (pH)

O potencial hidrogeniônico indica o teor de acidez ou alcalinidade dos resíduos. Em geral, situa-se na faixa de 5 a 7 (SÁ, 2012).

2.1.4.2.3 Composição química

A composição química consiste na determinação dos teores de cinzas, matéria orgânica, carbono, nitrogênio, potássio, cálcio, fósforo, resíduo mineral total, resíduo mineral solúvel e gorduras (SÁ, 2012).

2.1.4.2.4 Relação Carbono/Nitrogênio (C:N)

A relação carbono/nitrogênio indica o grau de decomposição da matéria orgânica do lixo nos processos de tratamento/disposição final. Em geral, essa relação encontra-se na ordem de 35/1 a 20/1 (SÁ, 2012).

2.1.4.3 Características biológicas

As características biológicas dos RS são aquelas determinadas pela população microbiana e dos agentes patogênicos presentes no lixo que, ao lado das suas características químicas, permitem que sejam selecionados os métodos de tratamento e disposição final mais adequado (SÁ, 2012).

2.2 Gerenciamento dos Resíduos Sólidos Urbanos

Após a Revolução Industrial, houve um notável aumento do consumo de recursos naturais para a produção e geração de energia e alimentos, o que, por sua vez, resultou no aumento da geração de resíduos. No entanto, o meio ambiente tem apresentado sinais de sua incapacidade de armazenar todos os resíduos gerados. Portanto, as políticas de gerenciamento de resíduos sólidos são fundamentais para melhorar a qualidade de vida da população e promover o crescimento sustentável das cidades.

Nesse sentido, as ações relacionadas à gestão e gerenciamento de resíduos devem ser integradas e comprometidas entre si. Contudo, é importante destacar que questões econômicas e sociais devem ser consideradas no cenário, assim como o aumento da urbanização, pois estes são os principais fatores que contribuem para o aumento da problemática de gerenciamento de resíduos. Para solucionar esses problemas, a participação ativa da sociedade é necessária para reduzir o descarte de resíduos e promover a reutilização antes do destino final. Além disso, é crucial que as empresas estabeleçam programas de redução da geração de resíduos, maximize o aproveitamento de materiais recicláveis e disponha os resíduos de maneira mais sanitária e ambientalmente adequada.

Segundo Schalch *et al* (2002, p.71), o conceito de gestão de resíduos sólidos abrange atividades referentes à tomada de decisões estratégicas e à organização do setor para esse fim, envolvendo instituições, políticas, instrumentos e meios. Já o termo gerenciamento de resíduos sólidos refere-se aos aspectos tecnológicos e operacionais da questão, envolvendo fatores administrativos, gerenciais, econômicos, ambientais e de desempenho: produtividade e qualidade, por exemplo, e relaciona-se à prevenção, redução, segregação, reutilização, acondicionamento, coleta, transporte, tratamento, recuperação de energia e destinação final de resíduos sólidos.

No Art.3º da PNRS, o conceito de Gestão de resíduos sólidos consiste no conjunto de ações voltadas para a busca de soluções para os resíduos sólidos, de forma a considerar as

dimensões política, econômica, ambiental, cultural e social, com controle social e sob a premissa do desenvolvimento sustentável. E gerenciamento de resíduos sólidos, o conjunto de ações exercidas, direta ou indiretamente, nas etapas de coleta, transporte, transbordo, tratamento e destinação final ambientalmente adequada dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, de acordo com plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos ou com plano de gerenciamento de resíduos sólidos.

De acordo com Ferreira (2000), é possível descrever as etapas do gerenciamento de resíduos da seguinte forma: a redução da quantidade de resíduos produzidos deve ser viabilizada, sendo uma forma possível a implantação de coleta seletiva na fonte, especialmente em áreas urbanas; o acondicionamento dos resíduos deve ser adequado ao tipo de manuseio e tratamento que será realizado; a acumulação interna deve ser realizada em recipientes ou locais estanques; o transporte interno deve ser realizado de modo a evitar a ruptura do acondicionamento e a disseminação dos resíduos; o transporte externo deve ser conduzido por veículos que minimizem a possibilidade de espalhamento ou vazamento dos resíduos; e, por fim, a disposição final deve ser realizada de forma segura, sem gerar riscos à saúde pública, poluição ou impactos ambientais negativos. A gestão adequada de resíduos é fundamental para a proteção do meio ambiente e para garantir a qualidade de vida das pessoas.

2.2.1 Métodos de Tratamentos dos RSU

O gerenciamento de resíduos é uma prática corretiva que pode resultar em uma série de benefícios, tais como a valorização dos resíduos, redução do consumo de recursos naturais e da poluição ambiental, geração de empregos e renda, além de aumentar a vida útil dos locais destinados à disposição final dos resíduos (MASSUKADO, 2004).

O tratamento de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) pode ser conceituado como um conjunto de procedimentos voltados para a minimização da quantidade e/ou potencial poluidor desses resíduos, com o objetivo de evitar o seu descarte em locais inadequados e/ou transformá-los em materiais inertes ou biologicamente estáveis (IBAM, 2001).

Dentre as diversas técnicas de tratamento de resíduos sólidos, destacam-se a reciclagem, a compostagem, o pré-tratamento mecânico biológico e a incineração.

A reciclagem consiste em reintroduzir no ciclo produtivo parte da matéria e energia que se tornaria resíduo, por meio de processos de separação e beneficiamento dos materiais contidos nos resíduos, os quais podem ser utilizados como matéria-prima pela indústria.

A compostagem, por sua vez, é uma técnica de tratamento biológico da fração orgânica dos resíduos, que transforma esses materiais em composto orgânico, o qual pode ser utilizado na agricultura como condicionante de solo.

O pré-tratamento mecânico biológico combina duas fases - mecânica e biológica - e consiste em uma triagem inicial dos resíduos, seguida de trituração mecânica para diminuir as dimensões dos resíduos, e tratamento biológico para a biodegradação da matéria orgânica.

Por fim, a incineração é o processo de combustão controlada dos resíduos, que tem como resultado a transformação em pequenas quantidades de resíduos inertes, não inertes e gasosos. embora apresente desvantagens como alto custo de instalação e operação, exigência de mão de obra qualificada e geração de compostos tóxicos e corrosivos, a incineração também oferece vantagens, como a redução drástica de massa e volume dos resíduos, recuperação de energia e esterilização dos resíduos.

2.2.2 Disposição dos Resíduos Sólidos Urbanos

No contexto brasileiro, é comum a utilização de métodos de disposição final de resíduos que consistem na disposição em aterros sem a realização de tratamentos prévios, o que é conhecido como lixão. Dentre as formas de disposição em aterros, três tipos são amplamente identificados: lixão, aterro controlado e aterro sanitário.

O lixão, também conhecido como vazadouro a céu aberto, representa uma forma inadequada de destinação final de resíduos sólidos que consiste na simples descarga desses materiais sobre o solo, sem qualquer tipo de medida de proteção ao meio ambiente ou à saúde pública. Essa prática acarreta diversos problemas, tais como a proliferação de vetores de doenças, como moscas, mosquitos, baratas e ratos, além da poluição do ar causada pela exalação de odores, fumaças, gases tóxicos e material particulado, a contaminação das águas superficiais e subterrâneas e do solo pelo lixiviado. Adicionalmente, essa situação é agravada pela falta de controle sobre os tipos de resíduos recebidos nesses locais, o que pode incluir dejetos originados de serviços de saúde e indústrias. Com frequência, o ambiente ao redor dos lixões é marcado por fatos altamente indesejáveis, tais como a criação de animais e a presença de catadores que, em muitos casos, residem no próprio local, comprometendo sua saúde.

O método denominado "Aterro Controlado" emprega princípios de engenharia com o objetivo de confinar os resíduos sólidos. A cada jornada de trabalho, é realizada a cobertura dos resíduos com solo e feita a compactação para reduzir o volume. É importante destacar que, segundo a FUNASA (2006), esse método não costuma dispor de impermeabilização de base, o

que pode comprometer a qualidade das águas subterrâneas, bem como não utiliza processos de tratamento de lixiviado e dispersão dos gases gerados.

De acordo com a ABNT (1997), o "Aterro Sanitário" é um método de disposição de resíduos sólidos urbanos que é regulado por critérios de engenharia e normas operacionais específicas, com o objetivo de confinar os resíduos de forma segura, minimizando os impactos ambientais e protegendo a saúde pública. Esses aterros são compostos por células de disposição, onde ocorre a compactação dos resíduos, além de haver a cobertura, sistema de drenagem, tratamento do lixiviado e dos gases gerados, impermeabilização de base, monitoramento geotécnico e ambiental e instrumentação. Todas essas técnicas são implementadas com o propósito de proteger o meio ambiente de possíveis contaminações provenientes do aterro.

A implementação de um aterro sanitário é uma das tarefas mais complexas e frequentemente controversas que muitas comunidades enfrentam ao implementar um programa integrado de disposição de RSU. Ao avaliar possíveis locais para a disposição dos RSU, diversos fatores devem ser considerados, tais como: a distância entre os centros geradores e o local de disposição, as restrições de localização, a disponibilidade da área, o acesso à área, as condições do solo, as condições climáticas, as condições ambientais locais e as condições geológicas e hidrogeológicas.

A instalação de aterros sanitários deve ser planejada em associação, na medida do possível, à implantação da coleta seletiva, indústria de reciclagem e das usinas de compostagem. Com isso, a vida útil do aterro sanitário pode ser prolongada, pois os materiais serão reaproveitados, o que significa o não desperdício de matérias primas e de recursos naturais.

Através de uma análise comparativa feita entre os Panorama de Resíduos Sólidos de 2012 e de 2022, o índice correspondente à destinação final adequada corresponde a 58% e 61%, respectivamente. Um aumento insignificante quando comparado ao aumento de 30,46% na produção de resíduos sólidos ao longo do mesmo período. Áreas de disposição inadequada, incluindo lixões e aterros controlados, ainda seguem em operação em todas as regiões do país e receberam 39% do total de resíduos coletados, alcançando um total de 29,7 milhões de toneladas com destinação inadequada.

2.3 Coleta Seletiva

Segundo o Guia da Coleta Seletiva de Lixo, lançado pelo CEMPRE – Compromisso Empresarial para Reciclagem em 2014, Coleta seletiva de lixo é um sistema de recolhimento de materiais recicláveis, tais como papéis, plásticos, vidros, metais e orgânicos, previamente

separados na fonte geradora. Estes materiais, após uma separação por cor, tipo, tamanho, densidade, etc.; lavagem; secagem; prensagem; moagem; e enfardamento, são então vendidos às indústrias recicladoras ou aos sucateiros.

No Brasil, a coleta seletiva de materiais recicláveis já era uma prática existente antes mesmo da aprovação da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) (Lei n. 12.305, 2010). Após a implementação desse marco legal, houve alguns avanços, embora ainda aquém do ideal, e as diferentes modalidades de coleta seletiva contribuíram positivamente em relação aos aspectos ambientais, sociais e humanos na sustentabilidade da vida urbana e rural, por meio da coleta específica desses materiais.

Com a aprovação da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) e a definição de metas para redução da disposição inadequada de resíduos sólidos recicláveis em aterros sanitários, a coleta seletiva de materiais recicláveis adquiriu maior relevância e recebeu mais atenção por parte das autoridades responsáveis. Essas atividades são interdependentes e podem contribuir de forma significativa para a sustentabilidade urbana e a preservação dos recursos naturais, resultando na redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE) (RIBEIRO, 2009).

Através de uma análise comparativa feita entre os Panorama de Resíduos Sólidos de 2012 e de 2021, houve um aumento considerável no índice dos municípios do país que registraram alguma iniciativa de coleta seletiva, aumentando de 60% para 75,1%, respectivamente. Importante destacar, porém, que em muitos municípios as atividades de coleta seletiva ainda não abrangem a totalidade da população, podendo ser iniciativas pontuais. Conforme representado na Quadro 1, as regiões Sul e Sudeste são as únicas que apresentam índice acima da média nacional.

Quadro 1 – Índice de crescimento da Coleta Seletiva

Região	Índice da quantidade de municípios com coleta seletiva em 2012 (%)	Índice da quantidade de municípios com coleta seletiva em 2021 (%)	Taxa de crescimento (%)
Norte	47,4	66,2	18,8
Nordeste	37,6	57,7	20,1
Centro-Oeste	31,8	51,4	19,6
Sudeste	80,5	91,2	10,7
Sul	79,5	91,4	11,9

Fonte: Adaptado de Abrelpe 2012 e 2022

2.3.1 Geração de empregos

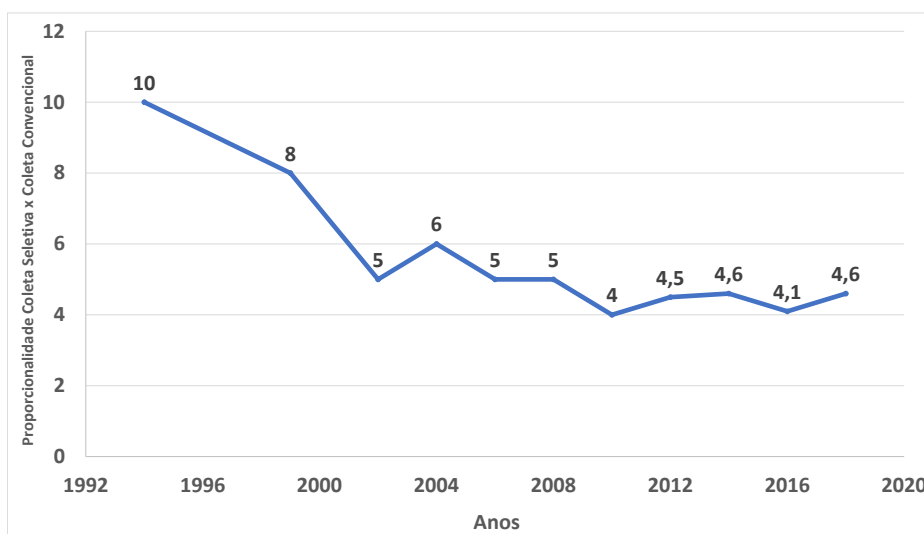
A partir de 1990, as prefeituras iniciaram parcerias com organizações de catadores, as quais são operacionalizadas, em grande parte, por meio da transferência de galpões de triagem, equipamentos e veículos de coleta pelas prefeituras e apoio nas campanhas de sensibilização e divulgação. As organizações de catadores realizam atividades de triagem, beneficiamento e comercialização dos materiais e, em alguns casos, também se responsabilizam pela coleta.

Em grande parte das cidades, a participação da população nos programas de coleta seletiva é voluntária. A mobilização para a separação dos materiais recicláveis na fonte geradora, tais como papéis, vidros, plásticos e metais, é conduzida por meio de campanhas de sensibilização promovidas em bairros, condomínios, escolas, comércios, empresas e indústrias.

Os programas municipais de coleta seletiva são implementados com recursos orçamentários municipais provenientes de uma taxa específica de limpeza pública ou de uma taxa arrecadada em conjunto com o Imposto Territorial Urbano (IPTU), que tem como base de cálculo a área edificada.

No Brasil, não existe nenhuma experiência de tarifação dos resíduos sólidos coletados com base na pesagem, a exemplo de alguns países europeus e estados norte-americanos. De acordo com os dados do Compromisso Empresarial para Reciclagem – CEMPRE (2018), enquanto a coleta regular de uma tonelada de lixo nas cidades brasileiras custa em média R\$ 95,00 a seletiva custa em torno de R\$ 389,00 por tonelada, ou seja, um valor 4,1 vezes maior. Este número, porém, vem diminuindo ao longo dos anos conforme representado na Figura 6.

Figura 6 – Proporcionalidade ao longo dos anos



Fonte: Pesquisa Ciclosoft (2018)

Em 1994, o custo da coleta seletiva era dez vezes maior; em 2004, seis; e em 2014, 4,6. Um dos fatores que contribuem para a diferença é que, no caso da coleta regular, é utilizado um caminhão compactador, que carrega mais peso com o mesmo volume disponível. Com isso, fica evidente a necessidade da otimização dos roteiros da coleta seletiva para reduzir seu custo.

2.4 Problema do caixeiro viajante (PCV)

Conforme Golbarg e Luna (2000), o Problema do Caixeiro Viajante (PCV) é um dos problemas de otimização mais conhecidos problemas de programação matemática. Ele envolve um percurso no qual uma pessoa/veículo deve sair de um ponto inicial A, visitar N pontos apenas uma vez e, em seguida, retornar a A. Por exemplo, no caso 5 pontos, a primeira e última posição são fixas; na segunda posição podemos colocar qualquer uma dos quatro pontos restantes; na terceira posição podemos colocar qualquer uma dos três pontos restantes e na quarta posição podemos colocar qualquer um dos dois pontos restantes, teremos apenas um ponto para colocar na quinta posição. Consequentemente, o número de rotas seria: $4 \times 3 \times 2 \times 1 = 24$. Da mesma forma, se tivermos n pontos, como o primeiro é fixo, o número total de rotas que se pode fazer é $(n - 1)!$.

Apesar de parecer simples, esse problema é um problema NP-difícil, ou seja, possui ordem de resolução de complexidade não polinomial. O número de rotas a ser analisada cresce exponencialmente conforme o número de pontos aumenta assim como ilustrado na Figura 7.

Figura 7 – Lista de fatoriais

n	$n!$
0	1
1	1
2	2
3	6
4	24
5	120
6	720
7	5.040
8	40.320
9	362.880
10	3.628.800
15	1.307.674.368.000
20	2.432.902.008.176.640.000

Fonte: Wikipédia (2023)

Esse modelo leva em consideração a distância entre os pontos (custo total envolvido) e a relação entre eles. Existem diversas técnicas para solucionar um PCV, que podem ser divididas em dois grupos: métodos exatos e métodos heurísticos.

De acordo com Dumitrescu e Stuzle (2003), os algoritmos exatos oferecem uma solução ótima em tempo finito ou comprovam que não há solução para o problema em questão. Isso significa que os métodos exatos sempre fornecem uma solução precisa, seja ela factível ou não, no entanto, podem exigir um tempo de resolução impraticável.

Os métodos heurísticos são fortemente dependentes da solução inicial, ou seja, do ponto de partida do problema. Eles consistem em algoritmos que não fornecem garantia de encontrar a solução ótima de um problema de otimização, podendo encontrar um ótimo local que não seja necessariamente um ótimo global. Os ótimos locais são pontos em que a vizinhança indica que ele é o maior para problemas de maximização ou o menor para problemas de minimização, mas esses pontos são apenas ótimos dentro de sua vizinhança imediata. É possível encontrar uma solução ainda melhor ao considerar o restante do espaço de busca.

2.5 Solução Adotada

Diante da complexidade de se resolver o PCV, existem alternativas que possibilitam sua resolução ou chegam em uma resposta satisfatória. A solução adotada para esse trabalho é a criação de rotas iniciais a partir dos métodos heurísticos e para tal os algoritmos Vizinho Mais Próximo e Inserção Mais Econômico serão utilizados. Essas rotas serão otimizadas através do uso dos métodos metaheurísticas, para tal os algoritmos de Trocar de Posições e Realocar Posições foram escolhidos. Além disso, será feito o uso da ferramenta analítica do Excel, conhecida como Solver. No fim, todos os resultados serão comparados e o melhor deles será escolhido.

2.5.1 Algoritmo Vizinho Mais Próximo

Segundo Solomon (1988), o algoritmo do Vizinho Mais Próximo é conhecido como um dos mais utilizados para solucionar um PCV. Ele busca sempre o vizinho mais próximo para criar uma rota. A distância é a variável mais importante nesse tipo de modelo. O primeiro passo na utilização desse modelo é definir aleatoriamente um nó como ponto inicial, depois analisar os nós que se ligam a ele e verificar o que tem a menor distância. Assim, escolhesse o mais próximo e risca a aresta indicando que os caminhos foram percorridos. O processo é repetido até que todos os nós do circuito estejam interligados, sempre seguindo do último nó utilizado.

2.5.2 Algoritmo de Inserção

Para Azeredo (1996), os algoritmos de inserção podem ser de vários modelos. A escolha é feita dependendo do objetivo. Eles podem ser de inserção mais econômico, do mais próximo, arbitrária, do mais distante, e outros.

Tomando um algoritmo de inserção do mais econômica como modelo explicativo, temos como primeiro passo a escolha de um nó aleatório. A seguir é preciso olhar entre os seus vizinhos, aqueles que se ligam a ele, quem é o mais próximo. Para tal, são formados sub rotas temporárias. Depois, é avaliado qual das sub rotas é a mais próxima. Essa análise é feita através do delta da diferença das distâncias. Escolhido a sub rota mais econômica, ela se torna a nova rota principal. A seguir o processador é repetido, sendo criado novas sub rotas para inserir outro nó, e assim sucessivamente até englobar todos os nós.

2.5.3 Algoritmos de Otimização

Foram utilizados dois diferentes movimentos de troca: Re-alocar ponto e Trocar pontos. Esses movimentos são encontrados frequentemente nos trabalhos referentes ao Problema de Roteirização e Programação de Veículos ou *Dial-a-Ride Problem*. Esse problema consiste no desenvolvimento de rotas e escalas de veículos para transportar diversos usuários, os quais especificam requisições de embarque e desembarque (coleta e entrega) entre locais de origem e destino específicos. O objetivo desse processo é planejar um conjunto de rotas para alguns veículos, com “custo mínimo”, capaz de acomodar o maior número possível de usuários, e sempre obedecendo a um conjunto de restrições (MAURI, 2006).

Entretanto, diferente do Problema de Roteirização e Programação de Veículos, a escolha de fazer o trabalho atual com base no Problema do Caixeiro Viajante foi devido ao fato de que há apenas um veículo realizando a coleta seletiva, ou seja, as rotas não podem se sobrepor, como ocorre no primeiro caso. Diante disso, foi feita a adaptação das soluções para que a Realocação e a Troca dos pontos seja feito dentro da própria rota ao invés de ser feita com outras rotas paralelas.

2.5.4 Algoritmo de Realocar Posições

O movimento Realocar pontos original consiste basicamente selecionar duas rotas quaisquer pertencentes à solução, selecionar uma requisição qualquer em apenas uma das duas rotas, extraí-la (seus pontos de embarque e desembarque) de sua rota de origem e adicioná-la na outra rota, em posições quaisquer (MAURI, 2006).

A adaptação desse modelo consiste em fazer com que o movimento seja feito dentro da própria rota. Dois pontos são escolhidos e é feita a realocação de suas posições. Para aumentar a eficiência do processo, todas as realocações possíveis foram listadas e serão feitas simultaneamente gerando os resultados individuais de cada movimento de modo que permitirá uma visualização mais clara do impacto de cada movimento na rota.

2.5.5 Algoritmo de Trocar de Posições

Já o movimento Trocar pontos consiste basicamente em selecionar duas rotas quaisquer pertencentes à solução, selecionar uma requisição de transporte (ponto de embarque e seu respectivo ponto de desembarque) qualquer em cada uma das duas rotas, e trocá-las em pares (MAURI, 2006).

A adaptação desse modelo consiste em fazer com que o movimento seja feito dentro da própria rota. Um par de pontos é escolhido e é feita a troca entre eles de posições. Para aumentar a eficiência do processo, todas as trocas possíveis foram listadas e serão feitas simultaneamente gerando os resultados individuais de cada movimento de modo que permitirá uma visualização mais clara do impacto de cada movimento na rota.

2.5.6 Solver do Excel

De acordo com Colin (2007), problemas de modelagem que possuem aplicações em situações reais podem sofrer alterações em que o número de equações e variáveis crescem rapidamente, tornando extremamente difícil a solução manual, especialmente em casos de problemas complexos.

Há uma ampla variedade de *softwares* disponíveis que podem resolver problemas envolvendo técnicas de programação linear, porém é crucial considerar dois aspectos cruciais: flexibilidade e aplicabilidade. Conforme observado por Lourenço et al. (2014), o auxílio computacional é de extrema importância quando se lida com problemas de grande complexidade. Portanto, o uso de softwares, como o Solver, tem possibilitado a compreensão e resolução de problemas de grande porte, os quais são amplamente utilizados no meio empresarial.

O Solver é um suplemento do conjunto de programas do Microsoft Excel, frequentemente referido como uma ferramenta de análise. Através do Solver, é possível determinar o Valor Ótimo de uma determinada função objetivo, a qual está localizada em uma célula de destino em uma planilha eletrônica. Além disso, o Solver é capaz de ajustar os valores das variáveis associadas ao sistema em estudo, e resolve um objetivo de cada vez.

3 METODOLOGIA

3.1 Localização da área de estudo

A área escolhida para a realização do estudo é a cidade de Palmas, fundada em 20 de maio de 1989, logo após a criação do Tocantins pela Constituição de 1988. Está localizada na região Norte do Brasil e na porção central do território estadual, conforme Figura 8. É uma cidade planejada, ou seja, foi construída mediante um projeto urbanístico específico, fato comprovado pela disposição das ruas e estruturas da cidade, devidamente dispostas ao longo do território municipal.

Figura 8 – Localização de Palmas no estado do Tocantins



Fonte: Wikipédia (2023)

Palmas é a menor cidade em população entre todas as capitais estaduais brasileiras. A estimativa do IBGE para o ano de 2021 é que Palmas possuía 313.349 pessoas. Comparando ao último censo, realizado em 2010, quando a capital tocaninense contava 228.332 moradores, houve um crescimento populacional de 37,23%. Tal crescimento é uma consequência de que o município caracteriza-se também por ter a melhor qualidade de vida entre as capitais e municípios do norte brasileiro.

3.2 Ecopontos

A Fundação Municipal de Meio Ambiente de Palmas é encarregada de sensibilizar a população sobre a importância de manter a cidade limpa, promover a separação dos materiais recicláveis e estruturar a coleta seletiva. Além disso, é responsável por instalar e divulgar os pontos de coleta seletiva (Ecopontos), gerenciar a coleta desses materiais nesses locais e encaminhá-los para as associações e cooperativas.

Para tanto, Palmas dispõe de 22 estações de coleta seletiva, distribuídas em todas as áreas da cidade. Essas estações são compostas por quatro recipientes, cada um com uma finalidade específica para diferentes tipos de resíduos, como plástico, papel/papelão e metal. Algumas dessas estações permitem ainda o descarte adequado de vidro e óleo residual de cozinha, como representado na Figura 9.

Figura 9 – Estação de Coleta de Resíduos



Fonte: Prefeitura de Palmas (2021)

Para facilitar a separação dos resíduos, a Resolução CONAMA nº 275, de 25 de Abril de 2001 padronizou as cores a serem utilizadas em coletores para os diferentes tipos de resíduos. O padrão de cores foi definido da seguinte forma: Azul - papel/papelão; Vermelho - plástico; Verde - vidro; Amarelo - metal; Preto - madeira; Laranja - resíduos perigosos; Branco - resíduos ambulatoriais e de serviços de saúde; Roxo - resíduos radioativos; Marrom - resíduos orgânicos e Cinza - resíduo geral não reciclável ou misturado, ou contaminado não passível de separação.

3.3 Coleta de Dados

Para desenvolvimento do trabalho foi feito o levantamento dos ecopontos na cidade de Palmas através de dados da FMA e de dados da empresa M Construções e Serviços Públicos Ltda, também conhecida como MB Limpeza Pública, a qual é responsável pela limpeza urbana da cidade de Palmas. A amostra de dados compõe 22 Ecopontos, representados no Quadro 2, nos quais a coleta seletiva é feita duas vezes por semana em cada um deles.

Quadro 2 – Lista dos Ecopontos de Palmas

Ecopontos Palmas
QUADRA ARSE102/ 1006 SUL - ESC. MUNICIPAL MONTEIRO LOBATO,
QUADRA 704 SUL/ARSE 71 (PRAÇA DA QUADRA),
QUADRA AASE 50/502 SUL - AV TEOTÔNIO SEGURADO - DEFENSORIA PÚBLICA,
ESPAÇO CULTURAL DE PALMAS
JL MEURER
QUADRA ARNO 22/205 NORTE (Condomínio Privilege),
QUADRA ARNO 12/105 NORTE - Prédio Royal,
QUADRA ACNO 1/103 NORTE - ANEXO III DA CORREGEDORIA DA JUSTIÇA,
TO PARCERIAS (PRAÇA DOS GIRASSÓIS),
QUADRA ARSO 102/1005 SUL. (Praça da quadra),
QUADRA ARSO 52/505 SUL (praça nº 6 da quadra);
QUADRA ARSO 42/405 SUL (praça da quadra),
QUADRA /109 NORTE - UNITINS CAMPUS GRACIOSA,
QUADRA ARSE 21/204 SUL (praça da quadra),
QUADRA /108 SUL - SEDE ADMINISTRATIVA DA UNITINS,
QUADRA ARNE 13/108 NORTE (Praça da quadra),
QUADRA AESE 34/310 SUL (IFTO),
QUADRA ACNE 11/104 NORTE - DÍNAMO ENGENHARIA (em frente à Energisa);
FUNDAÇÃO MUNICIPAL DE MEIO AMBIENTE DE PALMAS
CENTRO UNIVERSITÁRIO CATÓLICA DO TOCANTINS - UniCatólica
TAQUARUÇU GRANDE – POSTO MACHADO (COMUNIDADE ÁGUA DOCE);
TAQUARUÇU GRANDE – ESC. MUNICIPAL FIDÊNCIO BOGO,

Fonte: Fundação do Meio Ambiente de Palmas (2023)

3.4 Roteiros

Com base nos dados fornecidos pela empresa, foi constatado que somente um caminhão é designado exclusivamente para a coleta seletiva, o que impede a coleta em dois locais simultaneamente. O Engenheiro Responsável pela gestão de resíduos da empresa, considerando essa limitação, organizou os pontos de coleta em três rotas, representadas no Quadro 3. Cada rota parte da empresa, passa por todos os pontos de coleta uma única vez e retorna à empresa ao final do trajeto. A elaboração dos roteiros foi feita de forma empírica, ou seja, com base na experiência adquirida durante a realização diária das coletas, sem o uso de cálculos matemáticos.

Quadro 3 – Rotas da Coleta Seletiva

SEGUNDA-FEIRA E QUINTA-FEIRA	
LOCAL	
QUADRA ARSE102/ 1006 SUL - ESC. MUNICIPAL MONTEIRO LOBATO,	
QUADRA 704 SUL/ARSE 71 (PRAÇA DA QUADRA),	
QUADRA AASE 50/502 SUL - AV TEOTÔNIO SEGURADO - DEFENSORIA PÚBLICA,	
ESPAÇO CULTURAL DE PALMAS	
JL MEURER	
QUADRA ARNO 22/205 NORTE (Condomínio Privilege),	
QUADRA ARNO 12/105 NORTE - Prédio Royal,	
QUADRA ACNO 1/103 NORTE - ANEXO III DA CORREGEDORIA DA JUSTIÇA,	
TO PARCEIRAS (PRAÇA DOS GIRASSÓIS),	
TERÇA-FEIRA E SEXTA-FEIRA	
LOCAL	
QUADRA ARSO 102/1005 SUL. (Praça da quadra),	
QUADRA ARSO 52/505 SUL (praça nº 6 da quadra);	
QUADRA ARSO 42/405 SUL (praça da quadra),	
QUADRA /109 NORTE - UNITINS CAMPUS GRACIOSA,	
QUADRA ARSE 21/204 SUL (praça da quadra),	
QUADRA /108 SUL - SEDE ADMINISTRATIVA DA UNITINS,	
QUADRA ARNE 13/108 NORTE (Praça da quadra),	
QUADRA AESE 34/310 SUL (IFTO),	
QUADRA ACNE 11/104 NORTE - DÍNAMO ENGENHARIA (em frente à Energisa);	
FUNDAÇÃO MUNICIPAL DE MEIO AMBIENTE DE PALMAS	
QUARTA-FEIRA E SÁBADO	
LOCAL	
CENTRO UNIVERSITÁRIO CATÓLICA DO TOCANTINS - UniCatólica	
TAQUARUÇU GRANDE – POSTO MACHADO (COMUNIDADE ÁGUA DOCE);	
TAQUARUÇU GRANDE – ESC. MUNICIPAL FIDÊNCIO BOGO,	

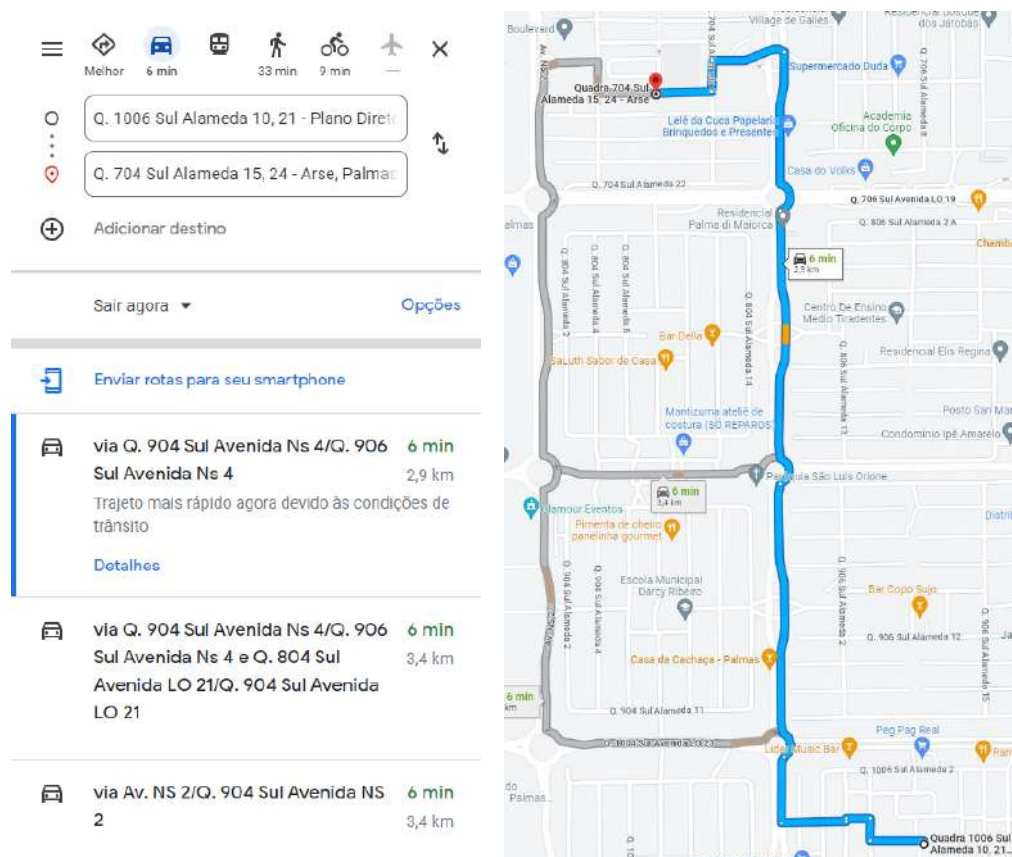
Fonte: MB – Limpeza Pública (2023)

3.5 Matriz de Distâncias

Com base nos dados fornecidos pela empresa, foi constatado que somente um caminhão é designado exclusivamente para a coleta seletiva, o que impede a coleta em dois locais simultaneamente. O Engenheiro Responsável pela gestão de resíduos da empresa, considerando essa limitação, organizou os pontos de coleta em três rotas: Segunda-feira e Quinta-feira; Terça-feira e Sexta-feira; Quarta-feira e Sábado. Cada rota parte da empresa, passa por todos os pontos de coleta uma única vez e retorna à empresa ao final do trajeto. A elaboração dos roteiros foi feita de forma empírica, ou seja, com base na experiência adquirida durante a realização diária das coletas, sem o uso de cálculos matemáticos.

Para construir a matriz é necessário conhecer a distância entre cada um dos pontos em cada uma das rotas. Para alimentar cada matriz, a distância adotada entre cada ponto é encontrada através do uso do Google Maps, na qual é colocado os endereços e adotado a distância em Km do menor trajeto calculado conforme ilustrado na Figura 10.

Figuras 10 – Rotas no Google Maps



Fonte: Autor (2023)

Seguindo esse princípio conseguiu-se as matrizes apresentadas nos Quadros 5, 7 e 9.

- Matriz Segunda-feira e Quinta-feira

Quadro 4 – Coordenadas dos pontos da matriz Segunda-feira e Quinta-feira

Código	LOCAL	Latitude	Longitude
1	MB-LIMPEZA URBANA	-10.251578	-48.313398
2	QUADRA ARSE102/ 1006 SUL - ESC. MUNICIPAL MONTEIRO LOBATO,	-10.2450405	-48.3209094
3	QUADRA 704 SUL/ARSE 71 (PRAÇA DA QUADRA),	-10.227802	-48.3271535
4	QUADRA AASE 50/502 SUL - AV TEOTÔNIO SEGURADO - DEFENSORIA PÚBLICA,	-10.2166104	-48.3328051
5	ESPAÇO CULTURAL DE PALMAS	-10.199071	-48.332149
6	JL MEURER	-10.195237	-48.330630
7	QUADRA ARNO 22/205 NORTE (Condomínio Privilege),	-10.1759863	-48.3426978
8	QUADRA ARNO 12/105 NORTE - Prédio Royal,	-10.1825441	-48.3441035
9	QUADRA ACNO 1/103 NORTE - ANEXO III DA CORREGEDORIA DA JUSTIÇA,	-10.1798095	-48.337524
10	TO PARCERIAS (PRAÇA DOS GIRASSÓIS),	-10.1825245	-48.3362498

Fonte: Adaptado MB – Limpeza Pública (2023)

Quadro 5 – Matriz Segunda-feira e Quinta-feira

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0	1,6	4,4	6,1	8,4	8,4	12	11,6	11	10,4
2	1,6	0	2,9	4,6	6,8	6,9	10,5	10,1	9,5	8,8
3	4,4	3	0	2	4,2	4,2	7,9	7,4	6,8	6,2
4	7,5	6,1	3,2	0	2,3	3,4	5,9	5,5	4,9	4,3
5	8,3	6,9	4	2,9	0	0,8	4,6	4,2	3,6	3
6	8,4	7	4,1	3	0,7	0	4,4	4	3,4	2,7
7	11,8	10,5	7,6	6	3,9	3,6	0	0,9	1	2,1
8	11,6	10,2	7,3	5,7	3,6	3,4	1,3	0	1,1	1,8
9	10,9	9,5	6,6	5	2,9	2,7	1,3	1,1	0	1,1
10	11,1	9,7	6,8	5,3	3,2	2,7	1,8	1,4	1,1	0

Fonte: Autor (2023)

- Matriz Terça-feira e Sexta-feira

Quadro 6 – Coordenadas dos pontos da matriz Terça-feira e Sexta-feira

Código	LOCAL	Latitude	Longitude
1	MB-LIMPEZA URBANA	-10.251578	-48.313398
2	QUADRA ARSO 102/1005 SUL. (Praça da quadra),	-10.2460752	-48.3453605
3	QUADRA ARSO 52/505 SUL (praça nº 6 da quadra);	-10.212762	-48.347600
4	QUADRA ARSO 42/405 SUL (praça da quadra),	-10.2075069	-48.3467822
5	QUADRA /109 NORTE - UNITINS CAMPUS GRACIOSA,	-10.1830101	-48.3601248
6	QUADRA ARSE 21/204 SUL (praça da quadra),	-10.1946856	-48.3271613
7	QUADRA /108 SUL - SEDE ADMINISTRATIVA DA UNITINS,	-10.190660	-48.316630
8	QUADRA ARNE 13/108 NORTE (Praça da quadra),	-10.1816957	-48.3166293
9	QUADRA AESE 34/310 SUL (IFTO),	-10.1982937	-48.3119765
10	QUADRA ACNE 11/104 NORTE - DÍNAMO ENGENHARIA (em frente à Energisa);	-10.178089	-48.328116
11	FUNDAÇÃO MUNICIPAL DE MEIO AMBIENTE DE PALMAS	-10.20489	-48.34772

Fonte: Adaptado MB – Limpeza Pública (2023)

Quadro 7 – Matriz Terça-feira e Sexta-feira

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	0	4,3	8,6	8,8	14,3	9	8,8	9,4	7,5	10,8	9,5
2	4,3	0	6,7	6,9	12,9	8,5	10	10,8	9,3	9,7	7,6
3	8,8	6,5	0	1,6	7,2	5,8	7,4	8,2	6,6	7,1	1,7
4	8,8	6,5	1,6	0	6,4	4,4	6	6,8	5,3	5,7	0,85
5	13,2	11,1	5,4	4,7	0	6,1	7,2	6,7	7,5	5,1	4,2
6	9	8,2	5,7	4,3	6,8	0	2,2	3	2,1	2,7	4,5
7	8,8	10	7,4	6	7,2	2,2	0	1,8	1,9	3	6,2
8	9,3	11,1	8,5	7,1	6,2	3,3	1,6	0	2,5	2	7,3
9	7	9	7	6,1	9,3	2,9	2,7	3,3	0	5,2	6,3
10	11,1	10	7,4	6	4,5	2,5	2,9	2	4,2	0	6,2
11	9,1	6,9	2,5	1,1	6,8	4,1	5,6	6,4	4,9	5,4	0

Fonte: Autor (2023)

- Matriz Quarta-feira e Sábado

Quadro 8 – Coordenadas dos pontos da matriz Quarta-feira e Sábado

Código	LOCAL	Latitude	Longitude
1	MB-LIMPEZA URBANA	-10.251578	-48.313398
2	CENTRO UNIVERSITÁRIO CATÓLICA DO TOCANTINS - UniCatólica	-10.270732	-48.332235
3	TAQUARUÇU GRANDE – POSTO MACHADO (COMUNIDADE ÁGUA DOCE);	-10.2470068	-48.244242
4	TAQUARUÇU GRANDE – ESC. MUNICIPAL FIDÊNCIO BOGO,	-10.2438107	-48.2218667

Fonte: Adaptado MB – Limpeza Pública (2023)

Quadro 9 – Matriz Quarta-feira e Sábado

	1	2	3	4
1	0	5,1	13,1	16,4
2	4,5	0	16,2	19,5
3	12,6	16,5	0	3,5
4	16	19,9	3,5	0

Fonte: Autor (2023)

3.6 Distância percorrida nas rota existentes

O cálculo das distâncias de cada rota existente foi feito segundo as matrizes correspondentes a cada dia. No Quadro 10 é possível ver a distância do Ponto 1 para o Ponto 2, a qual corresponde a 1,6 quilômetros. O processo é repetido para cada um dos pontos da rota e no fim soma-se cada uma dessas distâncias para encontrar a distância total da rota.

Quadro 10 – Linha 1 da Matriz Segunda-feira e Quinta-feira

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0	1,6	4,4	6,1	8,4	8,4	12	11,6	11	10,4

Fonte: Autor (2023)

- Segunda-feira e Quinta-feira

Rota	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1
------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	---

A distância total percorrida com essa rota é de 28,2 quilômetros.

- Terça-feira e Sexta-feira

Rota	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	1
------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	---

A distância total percorrida com essa rota é de 52,1 quilômetros.

- Quarta-feira e Sábado

Rota	1	2	3	4	1
------	---	---	---	---	---

A distância total percorrida com essa rota é de 40,8 quilômetros.

3.7 Algoritmos Auxiliares

O Problema do Caixeiro Viajante é um modelo de difícil resolução devido a enorme quantidade de possibilidades para resolvê-lo. Devido a isso, uma das estratégias utilizada para resolver esse modelo é o uso de dois tipos de algoritmos. Um deles serve para criar soluções iniciais e o outro para realizar melhorias nessas soluções.

É esperado que seja gerado duas Rotas Iniciais, sendo uma gerada pelo algoritmo do Vizinho Mais Próximo e outra pelo algoritmo de Inserção Mais Econômica. A seguir, cada algoritmo de otimização será aplicado duas vezes, sendo uma vez em cada rota inicial. Sendo assim, será encontrado duas rotas iniciais e quatro rotas otimizadas. Além disso, outra rota será criada a partir do Solver. Dessa forma, é esperado encontrar um total de 7 rotas. Essas rotas podem ou não ser as mesmas. Caso sejam a mesma, comprova um mínimo global a partir da combinação dos algoritmos, caso sejam diferentes, a mais otimizada será escolhida.

3.7.1 Algoritmo de Vizinho Mais Próximo

Para construção da rota inicial a partir do algoritmo de Vizinho Mais Próximo, primeiro é escolhido um ponto arbitrário inicial. Como todas as rotas iniciam e terminam na empresa, o Ponto 1 será escolhido como o ponto inicial nas três rotas. A seguir é escolhido o ponto mais próximo do ultimo escolhido, não podendo ser escolhido o próprio ponto nem algum outro que já faça parte da rota. É repetido esse processo até que todos os pontos sejam escolhidos. Como a rota termina na empresa, o ponto 1 também será o último da rota. Desta maneira, é encontrada uma rota inicial. Para finalizar, soma-se a distância entre todos os trechos da rota e com isso encontra-se a distância total percorrida pelo veículo ao realizar a rota. O passo a passo da aplicação desse algoritmo pode ser visto nos Anexos A, B e C desse trabalho.

3.7.2 Algoritmo de Inserção Mais Econômica

Para construção da rota inicial a partir do algoritmo de Inserção Mais Econômica, primeiro é escolhido um ponto arbitrário inicial. Como todas as rotas iniciam e terminam na empresa, o ponto 1 será escolhido como o ponto inicial nas três rotas. A seguir é escolhido o ponto mais próximo do ultimo escolhido, não podendo ser escolhido o próprio ponto nem algum outro que já faça parte da rota. Com isso, é feita primeira rota, a qual inclui apenas 2 pontos. A seguir, são feitos testes para verificar qual ponto e em qual posição é percorrida a menor distância, medida a qual é conseguida através do cálculo do delta. Encontrado o ponto mais econômico, é repetido o processo até que todos os pontos estejam incluídos. O passo a passo da aplicação desse algoritmo pode ser visto nos Anexos D, E e F desse trabalho.

3.7.3 Algoritmo de Realocar Posições

A partir de uma rota inicial, é feito a numeração da posição da ordem de cada ponto na rota. O ponto inicial e final são fixos na rota, pois os caminhões sempre saem e chegam na empresa. Desconsiderando esses pontos, são construídas tabelas contendo todas as realocações possíveis de serem realizadas. A lógica desse processo consiste em criar tabelas individuais para a realocação dos pontos em cada posição. Dentro dessas tabelas são realizados os movimentos e no fim são calculadas as distâncias de cada rota. O passo a passo da aplicação desse algoritmo pode ser visto nos Anexos G, H, I, J, K e L desse trabalho.

3.7.4 Algoritmo de Trocar Posições

A partir de uma rota inicial, é feito a numeração da posição da ordem de cada ponto na rota. O ponto inicial e final são fixos na rota, pois os caminhões sempre saem e chegam na empresa. Desconsiderando esses pontos, é construído uma tabela contendo todas as trocas possíveis de serem realizadas. A lógica desse processo consiste em criar uma tabela com todos os pares. Dentro dessas tabelas são realizados os movimentos e no fim são calculadas as distâncias de cada rota. É importante ressaltar que os pares são fixos, sendo que a ordem dos pontos não altera o resultado, ou seja, trocar os pontos na posição 1 e 2 é o mesmo que trocar os pontos na posição 2 e 1. O passo a passo da aplicação desse algoritmo pode ser visto nos Anexos M, N, O, P, Q e R desse trabalho.

3.7.5 Rota otimizada a partir do Algoritmo Solver do Excel

O solver é uma ferramenta capaz de, a partir de uma matriz de dados, encontrar a solução ótima. Para utilizá-la, a primeira etapa é construir uma matriz das distâncias e outra matriz de mesmo tamanho para as variáveis. A segunda etapa consiste em, na matriz das variáveis, colocar as restrições de fluxo dos nós referentes ao somatório dos fluxos de entrada e saída, os quais deverão ser iguais a 1. A terceira etapa consiste escolher uma célula para inserir o valor da função objetivo. Para chegarmos ao resultado correto da função objetivo devemos envolver as duas matrizes, as dos custos das variáveis e a das variáveis, usando a função do Excel “SOMARPRODUTO”. Em

seguida, todos os dados, variáveis, função objetivo, restrições e parâmetros são inseridos no solver do Excel e é solicitado que seja realizada a otimização.

Ao realizar a otimização, como não foi colocado nenhuma restrição para evitar subciclos, o primeiro resultado consistirá em um conjunto de subrotas. O método escolhido para solucionar as subrotas consiste em resolver a menor das subrotas. Caso mais de uma seja a menor, o critério de prioridade é resolver a que tiver o menor ponto, uma por vez. Sendo assim, é colocado a restrição para a subrota e otimiza-se novamente o Solver. Caso novamente apareça subrotas, repete-se a etapa acima. Caso contrario, o Solver irá mostrar uma rota que contém todos os pontos e essa rota é conhecida como a Solução Ótima, ou seja, a rota mais otimizada para a matriz escolhida.

Para se aplicar uma restrição, é preciso calcular o somatório dos dados na matriz das variáveis de modo que esse valor deve ser menor ou igual a $(n-1)$, sendo n a quantidade de caminhos percorridos ao longo da subrota. Por exemplo, uma rota 1-2-3-1 possui os seguintes caminhos: 1-2, 2-3, 3-1. Sendo assim, $n=3$ e para evitar essa subrota o somatorio desses 3 pontos deve ser menor que 2. O passo a passo da aplicação desse algoritmo pode ser visto nos Anexos S, T e U desse trabalho.

4 RESULTADOS

Nesse capítulo foi feita uma comparação das distâncias encontradas em cada rota calculada por cada um dos algoritmos utilizados, para que seja verificado qual a melhor rota e se houve alguma economia com ela comparada a Rota Atual. Para tal, foram construídos os Quadros 11, 12 e 13, os quais apresentam em cada um o agrupamento de todos os resultados em cada rota com seu respectivo resultado.

- Segunda-Feira e Quinta-Feira

Quadro 11 – Agrupamento dos resultados da Rota Segunda-feira e Quinta-feira

Rotas para a Matriz Segunda-Feira e Quinta-Feira	Distância (km)	Economia (%)
Rota Atual	28,2	0,00
Rota inicial gerada pelo Algoritmo Vizinho Mais Próximo	27,6	2,13
Rota Inicial gerada pelo Algoritmo Inserção Mais Econômica	26,4	6,38
Rota Otimizada gerada pelo Algoritmo de Realocar posições a partir da rota inicial gerada pelo Algoritmo do Vizinho Mais	26	7,80
Rota Otimizada gerada pelo Algoritmo de Realocar posições a partir da rota inicial gerada pelo Algoritmo de Inserção Mais	26	7,80
Rota Otimizada gerada pelo Algoritmo de Trocar posições a partir da rota inicial gerada pelo Algoritmo do Vizinho Mais Próximo	26,9	4,61
Rota Otimizada gerada pelo Algoritmo de Trocar posições a partir da rota inicial gerada pelo Algoritmo de Inserção Mais Econômica	26,4	6,38
Rota gerada pelo Solver	26	7,80

Fonte: Autor (2023)

As três rotas mais otimizadas têm uma distância percorrida de 26 quilômetros e seguem um mesmo caminho, sendo ele 1 2 4 10 8 7 9 6 5 3 1. Esta rota pode ser vista com mais detalhes no Anexo V. Sendo assim, esta é a melhor rota para a matriz de Segunda-Feira e Quinta-Feira e com ela o caminhão percorre 17,6 quilômetros a menos por mês e 211,2 quilômetros a menos por ano.

- Resultados para a Matriz de Terça-Feira e Sexta-Feira

Quadro 12 – Agrupamento dos resultados da Rota Terça-Feira e Sexta-Feira

Rotas para a Matriz Terça-Feira e Sexta-Feira	Distância (km)	Economia %
Rota Atual	52,1	0,00
Rota inicial gerada pelo Algoritmo Vizinho Mais Próximo	43,4	16,70
Rota Inicial gerada pelo Algoritmo Inserção Mais Econômica	43,7	16,12
Rota Otimizada gerada pelo Algoritmo de Realocar posições a partir da rota inicial gerada pelo Algoritmo do Vizinho Mais	43,1	17,27
Rota Otimizada gerada pelo Algoritmo de Realocar posições a partir da rota inicial gerada pelo Algoritmo de Inserção Mais	39,5	24,18
Rota Otimizada gerada pelo Algoritmo de Trocar posições a partir da rota inicial gerada pelo Algoritmo do Vizinho Mais Próximo	43,4	16,70
Rota Otimizada gerada pelo Algoritmo de Trocar posições a partir da rota inicial gerada pelo Algoritmo de Inserção Mais Econômica	38,6	25,91
Rota gerada pelo Solver	38,6	25,91

Fonte: Autor (2023)

As duas rotas mais otimizadas têm uma distância percorrida de 38,6 quilômetros e seguem um mesmo caminho, sendo ele 1 9 6 7 8 10 5 11 4 3 2 1. Esta rota pode ser vista com mais detalhes no Anexo W. Sendo assim, esta é a melhor rota para a matriz de Terça-Feira e Sexta-Feira e com ela o caminhão percorre 108 quilômetros a menos por mês e 1296 quilômetros a menos por ano.

- Resultados para a Matriz de Quarta-Feira e Sábado

Quadro 13 – Agrupamento dos resultados da Rota Quarta-Feira e Sábado

Rotas para a Matriz Quarta-Feira e Sábado	Distância (km)	Economia %
Rota Atual	40,8	0,00
Rota inicial gerada pelo Algoritmo Vizinho Mais Próximo	40,8	0,00
Rota Inicial gerada pelo Algoritmo Inserção Mais Econômica	40,7	0,25
Rota Otimizada gerada pelo Algoritmo de Realocar posições a partir da rota inicial gerada pelo Algoritmo do Vizinho Mais	40,7	0,25
Rota Otimizada gerada pelo Algoritmo de Realocar posições a partir da rota inicial gerada pelo Algoritmo de Inserção Mais	40,7	0,25
Rota Otimizada gerada pelo Algoritmo de Trocar posições a partir da rota inicial gerada pelo Algoritmo do Vizinho Mais Próximo	40,7	0,25
Rota Otimizada gerada pelo Algoritmo de Trocar posições a partir da rota inicial gerada pelo Algoritmo de Inserção Mais Econômica	40,7	0,25
Rota gerada pelo Solver	40,7	0,25

Fonte: Autor (2023)

As seis rotas mais otimizadas têm uma distância percorrida de 40,7 quilômetros e seguem um mesmo caminho, sendo ele 1 2 4 3 1. Esta rota pode ser vista com mais detalhes no Anexo X. Sendo assim, esta é a melhor rota para a matriz de Quarta-Feira e Sábado e com ela o caminhão percorre 0,8 quilômetros a menos por mês e 9,6 quilômetros a menos por ano.

Conforme observado nos Quadros 11, 12 e 13, constata-se que as sequências de rotas criadas a partir dos algoritmos mostraram nos três casos serem melhores que as usadas atualmente, as quais foram geradas de maneira empírica. Além disso, dos algoritmos utilizados, o único que conseguiu chegar na melhor rotas nos três casos foi o Solver do Excel.

É importante ressaltar que as rotas foram criadas visando otimizar as já existentes. De modo que, para tornar possível chegar em um resultado, foi considerado que o caminhão consegue percorrer toda a rota sem que em nenhum momento ele fique completamente cheio e precise retornar a empresa para descarregar.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esse trabalho pretendeu otimizar roteiros de coleta seletiva pública no município de Palmas-TO para aprimorar a eficiência e eficácia do processo de coleta de resíduos recicláveis, a partir do Problema do Caixeiro Viajante e com o auxílio de algoritmos matemáticos.

Para verificar a possibilidade de otimização das rotas, definiu-se três objetivos específicos. O primeiro foi realizar o levantamento dos Ecopontos e suas localizações geográficas. Verificou-se que existe 22 Ecopontos na cidade. Depois, analisou-se os roteiros utilizados na coleta seletiva pública no município de Palmas-TO. A análise permitiu confirmar que os roteiros utilizados atualmente poderiam ser otimizados, afinal a elaboração dos roteiros foi feita de forma empírica, ou seja, com base na experiência adquirida durante a realização diária das coletas, sem o uso de cálculos matemáticos. Por fim, foi feita a otimização desses roteiros baseado no Problema do Caixeiro Viajante. Os resultados apresentam uma economia na quantidade de quilômetros rodados de 7,80% na rota de Segunda-feira e Quinta-feira, de 25,91% na rota de Terça-feira e Sexta-feira e de 0,25% na rota de Quarta-feira e Sábado, totalizando 1.516,8 quilômetros a menos por ano.

6 REFERÊNCIAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Aterro de Resíduos Não Perigosos – Critérios para Projeto, Implantação e Operação** – NBR 13.896/1997.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 10004: Resíduos Sólidos-Classificação**. Rio de Janeiro: ABNT 2004, 71p.

ABRELPE. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil**. [S. l.], 2022. Disponível em: <https://abrelpe.org.br/panorama-2022/>. Acesso em: 16/03/2023.

ABRELPE. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil**. [S. l.], 2012. Disponível em: <https://abrelpe.org.br/panorama-2012/>. Acesso em: 16/03/2023.

ABRELPE. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil**. [S. l.], 2020. Disponível em: <https://abrelpe.org.br/panorama-2020/>. Acesso em: 20/03/2023.

AZEREDO, P. A. Métodos de Classificação de Dados e Análise de suas Complexidades. Rio de Janeiro. 1996.

COLIN, E. C., (2007). **Pesquisa Operacional: 170 aplicações em estratégia, finanças, logísticas, produção, marketing e venda**. Livro; Editora LTC; Rio de Janeiro; p 498.

Combustível Palmas. Disponível em: <<https://www.to.gov.br/procon/combustivel-palmas/221qex3rws11>>. Acesso em: 28 abr. 2023.

BRASIL. Lei 12.305, de 02 de agosto de 2010. **Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos**; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, D.F., 03 agos. de 2010, Seção 1, p. 3.

CUNHA, V. e CAIXETA-FILHO, J. (2002). **Gerenciamento da coleta de resíduos sólidos urbanos: estruturação e aplicação de modelo não-linear de programação por metas**. *Gestão & Produção*, **9**, 143-161.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução CONAMA n 275 de 25 de Abril 2001**. Disponível em: <<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=291>>. Acesso em: 17/03/2023

CEMPRE. **Pesquisa Ciclossoft 2018**. São Paulo: Compromisso Empresarial para a Reciclagem. Disponível em: <https://cempre.org.br/wp-content/uploads/2020/08/Pesquisa-Ciclossoft-2018.pdf>. Acesso em: 21/03/2023.

DUMITRESCU, I.; STUTZLE, T. Combination of Local Search and Exact Algorithms. Darmstadt University of Technology. Alemanha. 2003. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/297333288_Combinations_of_local_search_and_exact_algorithms. Acesso em: 21/03/2023.

Fatorial. Disponível em: <<https://pt.wikipedia.org/wiki/Fatorial>>. Acesso em: 19 maio. 2023.

FERREIRA, J. A., 2000, **Resíduos Sólidos: Perspectivas Atuais**. In: Sisino, C. L. S., Oliveira, R.

M. (org.), *Resíduos Sólidos, Ambiente e Saúde: uma Visão Multidisciplinar*, 1ª ed, capítulo 1, Rio de Janeiro, Editora Fiocruz.

FUNASA - FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE, 2006. **Manual de saneamento**. 3ªed. Brasília, Fundação Nacional de Saúde / Brasil.

FUNASA - FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE, 2015. **Manual de saneamento**. 4ªed. Brasília, Fundação Nacional de Saúde / Brasil.

GOLDBARG, M.C.; LUNA, H. P. L. *Otimização combinatória e programação linear : modelos e algoritmos*. Rio de Janeiro. Campus, 2000.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **IBGE divulga as estimativas populacionais dos municípios em 2012**. Disponível em: <https://www.ufjf.br/ladem/2012/08/31/ibge-divulga-as-estimativas-populacionais-dos-municipios-em-2012/>. Acesso em: 16/03/2023

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Projeção da população do Brasil e das Unidades da Federação**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/apps/populacao/projecao/>. Acesso em: 16/03/2023

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Palmas – IBGE Cidades**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/to/palmas/panorama>. Acesso em: 15/03/2023.

IBAM – INSTITUTO BRASILEIRO DE ADMINISTRAÇÃO PÚBLICA, 2001, **Manual de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos**, Rio de Janeiro, RJ.

Lixo Municipal: Manual de Gerenciamento Integrado. Coordenação: Maria Luiza Otero D' Almeida, André Vilhena – 2.ed. São Paulo: IPT/CEMPRE, 2000.

LANGE, L. C.; GOMES, L. P; PESSIN, N. **Alternativas de Disposição de Resíduos sólidos Urbanos para Pequenas Comunidades**. Rio de Janeiro: ABES. (Coletânea de Trabalhos Técnicos). p. 13-17. Disponível em: <http://www.finep.gov.br/images/apoio-e-financiamento/historico-de-programas/prosab/livrocompletofinal.pdf>. Acesso em: 20/03/2023.

Lourenço, A. A., Gomes, G. H. G., Carvalho, P. A. M., Mafra, R. S. C., Bretas, T.L., Silva, A.L., (2014). Apresentação de Material Pedagógico-Computacional para o Ensino do Método Simplex. *Revista Eletrônica Pesquisa Operacional para o Desenvolvimento*. Rio de Janeiro, v.6, n.1, p 67-80.

MASSUKADO, L. M., 2004, **Sistema de apoio à decisão: avaliação de cenários de gestão integrada de resíduos sólidos urbanos domiciliares**. Dissertação de M.Sc., UFSCar, São Carlos, SP, Brasil.

MAURI, G. **Uma nova abordagem para o problema de roteirização e programação de veículos**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<http://www.lac.inpe.br/~lorena/mauri/qualificacao-mauri.pdf>>. Acesso em: 22 mar. 2023.

MELQUIADES, J.A. (2015). **Modelagem para a roteirização do processo de coleta e transporte dos resíduos sólidos urbanos**. Tese de Doutorado em Transportes, Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Brasília, DF.

PALMAS (TO). Governo do Estado. 2023. Histórico de Palmas – TO. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/to/palmas/historico>. Acesso em: 15/03/2023.

PALMAS (TO). Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Palmas>. Acesso em: 15/03/2023.

Preços. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/precos-e-defesa-da-concorrenca/precos>.

Prefeitura Municipal de Palmas - TO. Disponível em: <https://www.palmas.to.gov.br/portal/noticias/coleta-seletiva-auxilia-no-destino-dos-residuos-solidos-em-palmas/30741/#:~:text=Em%20Palmas%2C%20a%20coleta%20seletiva>. Acesso em: 22 mar. 2023.

Prefeitura Municipal de Palmas - TO. Disponível em: <https://www.palmas.to.gov.br/portal/noticias/fma-assina-acordo-de-cooperacao-com-as-associacoes-e-cooperativas-de-reciclaveis/31797/>. Acesso em: 22 mar. 2023.

IBRAOP. **PROC-IBR-RSU 005/2017 Análise de Orçamento do Serviço de Coleta de RSD - Custos Variáveis de Veículos e Equipamentos.** [s.l: s.n.]. Disponível em: http://www.ibraop.org.br/wp-content/uploads/proc_rsu/PROC-IBR-RSU%20005-2017.pdf. Acesso em: 7 jun. 2023.

RIBEIRO, Helena et al. **Coleta seletiva com inclusão social: cooperativismo e sustentabilidade.** . São Paulo: Annablume. . Acesso em: 21 mar. 2023. , 2009

SÁ, Jocelito Saccol de. **Disposição Final de Resíduos.** Disciplina de Disposição Final de Resíduos. Data completa 2012. Notas de Aula. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul-riograndense.

Schalch, V. et al. **Gestão e gerenciamento de resíduos sólidos.** [s.l: s.n.]. Disponível em: http://www.deecc.ufc.br/Download/Gestao_de_Residuos_Solidos_PGTGA/Apostila_Gestao_e_Gerenciamento_de_RS_Schalch_et_al.pdf.

SILVA, S. (2017). **A organização coletiva de catadores de material reciclável no Brasil: dilemas e potencialidades sob a ótica da economia brasileira.** Texto para discussão, Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada - IPEA, Brasília/Rio de Janeiro, DF/RJ, 56p. Disponível em: http://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/TDs/td_2268.pdf. Acesso em 22 mar. 2023

SOARES. E.L.S.F. **Estudo da Caracterização Gravimétrica e Poder Calorífico dos Resíduos Sólidos Urbanos.** Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Engenharia Civil, 2015.

SOLOMON, M. M.; DESROSIERS, J. Tim Window Constrained Routing and Scheduling Problem. *Transportation Science*. v. 22, n. 1, p. 1-13. 1988.

ANEXO A

Rota inicial gerada pelo Algoritmo Vizinho Mais Próximo na matriz Segunda-Feira e Quinta-Feira

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0	1,6	4,4	6,1	8,4	8,4	12	11,6	11	10,4
2	1,6	0	2,9	4,6	6,8	6,9	10,5	10,1	9,5	8,8
3	4,4	3	0	2	4,2	4,2	7,9	7,4	6,8	6,2
4	7,5	6,1	3,2	0	2,3	3,4	5,9	5,5	4,9	4,3
5	8,3	6,9	4	2,9	0	0,8	4,6	4,2	3,6	3
6	8,4	7	4,1	3	0,7	0	4,4	4	3,4	2,7
7	11,8	10,5	7,6	6	3,9	3,6	0	0,9	1	2,1
8	11,6	10,2	7,3	5,7	3,6	3,4	1,3	0	1,1	1,8
9	10,9	9,5	6,6	5	2,9	2,7	1,3	1,1	0	1,1
10	11,1	9,7	6,8	5,3	3,2	2,7	1,8	1,4	1,1	0

Passo 1: Escolher um ponto para iniciar

Como a rota inicia e termina na empresa, o Ponto 1 foi escolhido como o ponto inicial

Passo 2: O próximo ponto da rota deve ser o ponto mais próximo do ultimo ponto escolhido, não podendo ser escolhido o próprio ponto

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0	1,6	4,4	6,1	8,4	8,4	12	11,6	11	10,4

O ponto mais próximo do Ponto 1 é o 2

Passo 3: Repete-se o passo 2 até que todos os pontos estejam incluídos na rota sem que haja repetição

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2	1,6	0	2,9	4,6	6,8	6,9	10,5	10,1	9,5	8,8

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
3	4,4	3	0	2	4,2	4,2	7,9	7,4	6,8	6,2

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
4	7,5	6,1	3,2	0	2,3	3,4	5,9	5,5	4,9	4,3

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5	8,3	6,9	4	2,9	0	0,8	4,6	4,2	3,6	3

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
6	8,4	7	4,1	3	0,7	0	4,4	4	3,4	2,7

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
10	11,1	9,7	6,8	5,3	3,2	2,7	1,8	1,4	1,1	0

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
9	10,9	9,5	6,6	5	2,9	2,7	1,3	1,1	0	1,1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
8	11,6	10,2	7,3	5,7	3,6	3,4	1,3	0	1,1	1,8

Como a rota inicia e termina na empresa, deve-se adicionar a distância do ultimo ponto até o ponto 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
7	11,8	10,5	7,6	6	3,9	3,6	0	0,9	1	2,1

Diante disso, temos a seguinte rota

1	2	3	4	5	6	10	9	8	7	1
---	---	---	---	---	---	----	---	---	---	---

Somando as distâncias entre os pontos, temos a distância total percorrida pelo veículo ao realizar a rota

1	2	3	4	5	6	10	9	8	7	1
	1,6	2,9	2	2,3	0,8	2,7	1,1	1,1	1,3	11,8

Distância Total = 27,6

Com essa rota o caminhão percorre 27,6 quilômetros

ANEXO B

Rota inicial gerada pelo Algoritmo Vizinho Mais Próximo na matriz Terça-Feira e Sexta-Feira

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	0	4,3	8,6	8,8	14,3	9	8,8	9,4	7,5	10,8	9,5
2	4,3	0	6,7	6,9	12,9	8,5	10	10,8	9,3	9,7	7,6
3	8,8	6,5	0	1,6	7,2	5,8	7,4	8,2	6,6	7,1	1,7
4	8,8	6,5	1,6	0	6,4	4,4	6	6,8	5,3	5,7	0,85
5	13,2	11,1	5,4	4,7	0	6,1	7,2	6,7	7,5	5,1	4,2
6	9	8,2	5,7	4,3	6,8	0	2,2	3	2,1	2,7	4,5
7	8,8	10	7,4	6	7,2	2,2	0	1,8	1,9	3	6,2
8	9,3	11,1	8,5	7,1	6,2	3,3	1,6	0	2,5	2	7,3
9	7	9	7	6,1	9,3	2,9	2,7	3,3	0	5,2	6,3
10	11,1	10	7,4	6	4,5	2,5	2,9	2	4,2	0	6,2
11	9,1	6,9	2,5	1,1	6,8	4,1	5,6	6,4	4,9	5,4	0

Passo 1: Escolher um ponto para iniciar

Como a rota inicia e termina na empresa, o Ponto 1 foi escolhido como o ponto inicial

Passo 2: O próximo ponto da rota deve ser o ponto mais próximo do ultimo ponto escolhido, não podendo ser escolhido o próprio ponto

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	0	4,3	8,6	8,8	14,3	9	8,8	9,4	7,5	10,8	9,5

O ponto mais próximo do Ponto 1 é o 2

Passo 3: Repete-se o passo 2 até que todos os pontos estejam incluídos na rota sem que haja repetição

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
2	4,3	0	6,7	6,9	12,9	8,5	10	10,8	9,3	9,7	7,6

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
3	8,8	6,5	0	1,6	7,2	5,8	7,4	8,2	6,6	7,1	1,7

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
4	8,8	6,5	1,6	0	6,4	4,4	6	6,8	5,3	5,7	0,85

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
6	9	8,2	5,7	4,3	6,8	0	2,2	3	2,1	2,7	4,5

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
9	7	9	7	6,1	9,3	2,9	2,7	3,3	0	5,2	6,3

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
7	8,8	10	7,4	6	7,2	2,2	0	1,8	1,9	3	6,2

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
8	9,3	11,1	8,5	7,1	6,2	3,3	1,6	0	2,5	2	7,3

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
10	11,1	10	7,4	6	4,5	2,5	2,9	2	4,2	0	6,2

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
5	13,2	11,1	5,4	4,7	0	6,1	7,2	6,7	7,5	5,1	4,2

Como a rota inicia e termina na empresa, deve-se adicionar a distância do ultimo ponto até o ponto 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
11	9,1	6,9	2,5	1,1	6,8	4,1	5,6	6,4	4,9	5,4	0

Diante disso, temos a seguinte rota

1	2	3	4	6	9	7	8	10	5	11	1
---	---	---	---	---	---	---	---	----	---	----	---

Somando as distâncias entre os pontos, temos a distância total percorrida pelo veículo ao realizar a rota

1	2	3	4	6	9	7	8	10	5	11	1
	4,3	6,7	1,6	4,4	2,1	2,7	1,8	2	4,5	4,2	9,1

Distância Total = 43,4

Com essa rota o caminhão percorre 43,4 quilômetros

ANEXO C

Rota inicial gerada pelo Algoritmo Vizinho Mais Próximo na matriz Quarta-Feira e Sábado

	1	2	3	4
1	0	5,1	13,1	16,4
2	4,5	0	16,2	19,5
3	12,6	16,5	0	3,5
4	16	19,9	3,5	0

Passo 1: Escolher um ponto para iniciar

Como a rota inicia e termina na empresa, o Ponto 1 foi escolhido como o ponto inicial

Passo 2: O próximo ponto da rota deve ser o ponto mais próximo do ultimo ponto escolhido, não podendo ser escolhido o próprio ponto

	1	2	3	4
1	0	5,1	13,1	16,4

O ponto mais próximo do Ponto 1 é o 2

Passo 3: Repete-se o passo 2 até que todos os pontos estejam incluídos na rota sem que haja repetição

	1	2	3	4
2	4,5	0	16,2	19,5

	1	2	3	4
3	12,6	16,5	0	3,5

Como a rota inicia e termina na empresa, deve-se adicionar a distância do ultimo ponto até o ponto 1

	1	2	3	4
4	16	19,9	3,5	0

Diante disso, temos a seguinte rota

1	2	3	4	1
---	---	---	---	---

Somando as distâncias entre os pontos, temos a distância total percorrida pelo veículo ao realizar a rota

1	2	3	4	1
	5,1	16,2	3,5	16

Distância Total = 40,8

Com essa rota o caminhão percorre 40,8 quilômetros

ANEXO D

Rota Inicial gerada pelo Algoritmo Inserção Mais Econômica na matriz Segunda-Feira e Quinta-Feira

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0	1,6	4,4	6,1	8,4	8,4	12	11,6	11	10,4
2	1,6	0	2,9	4,6	6,8	6,9	10,5	10,1	9,5	8,8
3	4,4	3	0	2	4,2	4,2	7,9	7,4	6,8	6,2
4	7,5	6,1	3,2	0	2,3	3,4	5,9	5,5	4,9	4,3
5	8,3	6,9	4	2,9	0	0,8	4,6	4,2	3,6	3
6	8,4	7	4,1	3	0,7	0	4,4	4	3,4	2,7
7	11,8	10,5	7,6	6	3,9	3,6	0	0,9	1	2,1
8	11,6	10,2	7,3	5,7	3,6	3,4	1,3	0	1,1	1,8
9	10,9	9,5	6,6	5	2,9	2,7	1,3	1,1	0	1,1
10	11,1	9,7	6,8	5,3	3,2	2,7	1,8	1,4	1,1	0

Rota 1

1	2	1
---	---	---

Inserir 3

1	2	3	1
1	3	2	1

Delta	$(2,3) + (3,1) - (2,1)$	5,7
Delta	$(1,3) + (3,2) - (1,2)$	5,8

Inserir 4

1	2	4	1	
1	4	2	1	
Delta	(2,4) + (4,1) - (2,1)			10,5
Delta	(1,4) + (4,2) - (1,2)			10,6

Inserir 5

1	2	5	1	
1	5	2	1	
Delta	(2,5) + (5,1) - (2,1)			13,5
Delta	(1,5) + (5,2) - (1,2)			13,7

Inserir 6

1	2	6	1
1	6	2	1

Delta	(2,6) + (6,1) - (2,1)	13,7
Delta	(1,6) + (6,2) - (1,2)	13,8

Inserir 7

1	2	7	1
1	7	2	1

Delta	$(2,7) + (7,1) - (2,1)$	20,7
Delta	$(1,7) + (7,2) - (1,2)$	20,9

Inserir 8

1	2	8	1
1	8	2	1

Delta	$(2,8) + (8,1) - (2,1)$	20,1
Delta	$(1,8) + (8,2) - (1,2)$	20,2

Inserir 9

1	2	9	1
1	9	2	1

Delta	$(2,9) + (9,1) - (2,1)$	18,8
Delta	$(1,9) + (9,2) - (1,2)$	18,9

Inserir 10

1	2	10	1
1	10	2	1

Delta	$(2,10) + (10,1) - (2,1)$	18,3
Delta	$(1,10) + (10,2) - (1,2)$	18,5

Rota 2

1	2	3	1
---	---	---	---

Inserir 4

1	4	2	3	1
1	2	4	3	1
1	2	3	4	1

Delta	$(1,4) + (4,2) - (1,2)$	10,6
Delta	$(2,4) + (4,3) - (2,3)$	4,9
Delta	$(3,4) + (4,1) - (3,1)$	5,1

Inserir 5

1	5	2	3	1
1	2	5	3	1
1	2	3	5	1

Delta	$(1,5) + (5,2) - (1,2)$	13,7
Delta	$(2,5) + (5,3) - (2,3)$	7,9
Delta	$(3,5) + (5,1) - (3,1)$	8,1

Inserir 6

1	6	2	3	1
1	2	6	3	1
1	2	3	6	1

Delta	$(1,6) + (6,2) - (1,2)$	13,8
Delta	$(2,6) + (6,3) - (2,3)$	8,1
Delta	$(3,6) + (6,1) - (3,1)$	8,2

Inserir 7

1	7	2	3	1
1	2	7	3	1
1	2	3	7	1

Delta	$(1,7) + (7,2) - (1,2)$	20,9
Delta	$(2,7) + (7,3) - (2,3)$	15,2
Delta	$(3,7) + (7,1) - (3,1)$	15,3

Inserir 8

1	8	2	3	1
1	2	8	3	1
1	2	3	8	1

Delta	$(1,8) + (8,2) - (1,2)$	20,2
Delta	$(2,8) + (8,3) - (2,3)$	14,5
Delta	$(3,8) + (8,1) - (3,1)$	14,6

Inserir 9

1	9	2	3	1
1	2	9	3	1
1	2	3	9	1

Delta	$(1,9) + (9,2) - (1,2)$	18,9
Delta	$(2,9) + (9,3) - (2,3)$	13,2
Delta	$(3,9) + (9,1) - (3,1)$	13,3

Inserir 10

1	10	2	3	1
1	2	10	3	1
1	2	3	10	1

Delta	$(1,10) + (10,2) - (1,2)$	18,5
Delta	$(2,10) + (10,3) - (2,3)$	12,7
Delta	$(3,10) + (10,1) - (3,1)$	12,9

Rota 3

1	2	4	3	1
---	---	---	---	---

Inserir 5

1	5	2	4	3	1
1	2	5	4	3	1
1	2	4	5	3	1
1	2	4	3	5	1

Delta	$(1,5) + (5,2) - (1,2)$	13,7
Delta	$(2,5) + (5,4) - (2,4)$	5,1
Delta	$(4,5) + (5,3) - (4,3)$	3,1
Delta	$(3,5) + (5,1) - (3,1)$	8,1

Inserir 6

1	6	2	4	3	1
1	2	6	4	3	1
1	2	4	6	3	1
1	2	4	3	6	1

Delta	$(1,6) + (6,2) - (1,2)$	13,8
Delta	$(2,6) + (6,4) - (2,4)$	5,3
Delta	$(4,6) + (6,3) - (4,3)$	4,3
Delta	$(3,6) + (6,1) - (3,1)$	8,2

Inserir 7

1	7	2	4	3	1
1	2	7	4	3	1
1	2	4	7	3	1
1	2	4	3	7	1

Delta	$(1,7) + (7,2) - (1,2)$	20,9
Delta	$(2,7) + (7,4) - (2,4)$	11,9
Delta	$(4,7) + (7,3) - (4,3)$	10,3
Delta	$(3,7) + (7,1) - (3,1)$	15,3

Inserir 8

1	8	2	4	3	1
1	2	8	4	3	1
1	2	4	8	3	1
1	2	4	3	8	1

Delta	$(1,8) + (8,2) - (1,2)$	20,2
Delta	$(2,8) + (8,4) - (2,4)$	11,2
Delta	$(4,8) + (8,3) - (4,3)$	9,6
Delta	$(3,8) + (8,1) - (3,1)$	14,6

Inserir 9

1	9	2	4	3	1
1	2	9	4	3	1
1	2	4	9	3	1
1	2	4	3	9	1

Delta	$(1,9) + (9,2) - (1,2)$	18,9
Delta	$(2,9) + (9,4) - (2,4)$	9,9
Delta	$(4,9) + (9,3) - (4,3)$	8,3
Delta	$(3,9) + (9,1) - (3,1)$	13,3

Inserir 10

1	10	2	4	3	1
1	2	10	4	3	1
1	2	4	10	3	1
1	2	4	3	10	1

Delta	$(1,10) + (10,2) - (1,2)$	18,5
Delta	$(2,10) + (10,4) - (2,4)$	9,5
Delta	$(4,10) + (10,3) - (4,3)$	7,9
Delta	$(3,10) + (10,1) - (3,1)$	12,9

Rota 4

1	2	4	5	3	1
---	---	---	---	---	---

Inserir 6

1	6	2	4	5	3	1
1	2	6	4	5	3	1
1	2	4	6	5	3	1
1	2	4	5	6	3	1
1	2	4	5	3	6	1

Delta	$(1,6) + (6,2) - (1,2)$	13,8
Delta	$(2,6) + (6,4) - (2,4)$	5,3
Delta	$(4,6) + (6,5) - (4,5)$	1,8
Delta	$(5,6) + (6,3) - (5,3)$	0,9
Delta	$(3,6) + (6,1) - (3,1)$	8,2

Inserir 7

1	7	2	4	5	3	1
1	2	7	4	5	3	1
1	2	4	7	5	3	1
1	2	4	5	7	3	1
1	2	4	5	3	7	1

Delta	$(1,7) + (7,2) - (1,2)$	20,9
Delta	$(2,7) + (7,4) - (2,4)$	11,9
Delta	$(4,7) + (7,5) - (4,5)$	7,5
Delta	$(5,7) + (7,3) - (5,3)$	8,2
Delta	$(3,7) + (7,1) - (3,1)$	15,3

Inserir 8

1	8	2	4	5	3	1
1	2	8	4	5	3	1
1	2	4	8	5	3	1
1	2	4	5	8	3	1
1	2	4	5	3	8	1

Delta	$(1,8) + (8,2) - (1,2)$	20,2
Delta	$(2,8) + (8,4) - (2,4)$	11,2
Delta	$(4,8) + (8,5) - (4,5)$	6,8
Delta	$(5,8) + (8,3) - (5,3)$	7,5
Delta	$(3,8) + (8,1) - (3,1)$	14,6

Inserir 9

1	9	2	4	5	3	1
1	2	9	4	5	3	1
1	2	4	9	5	3	1
1	2	4	5	9	3	1
1	2	4	5	3	9	1

Delta	$(1,9) + (9,2) - (1,2)$	18,9
Delta	$(2,9) + (9,4) - (2,4)$	9,9
Delta	$(4,9) + (9,5) - (4,5)$	5,5
Delta	$(5,9) + (9,3) - (5,3)$	6,2
Delta	$(3,9) + (9,1) - (3,1)$	13,3

Inserir 10

1	10	2	4	5	3	1
1	2	10	4	5	3	1
1	2	4	10	5	3	1
1	2	4	5	10	3	1
1	2	4	5	3	10	1

Delta	$(1,10) + (10,2) - (1,2)$	18,5
Delta	$(2,10) + (10,4) - (2,4)$	9,5
Delta	$(4,10) + (10,5) - (4,5)$	5,2
Delta	$(5,10) + (10,3) - (5,3)$	5,8
Delta	$(3,10) + (10,1) - (3,1)$	12,9

Rota 5

1	2	4	5	6	3	1
---	---	---	---	---	---	---

Inserir 7

1	7	2	4	5	6	3	1
1	2	7	4	5	6	3	1
1	2	4	7	5	6	3	1
1	2	4	5	7	6	3	1
1	2	4	5	6	7	3	1
1	2	4	5	6	3	7	1

Delta	$(1,7) + (7,2) - (1,2)$	20,9
Delta	$(2,7) + (7,4) - (2,4)$	11,9
Delta	$(4,7) + (7,5) - (4,5)$	7,5
Delta	$(5,7) + (7,6) - (5,6)$	7,4
Delta	$(6,7) + (7,3) - (6,3)$	7,9
Delta	$(3,7) + (7,1) - (3,1)$	15,3

Inserir 8

1	8	2	4	5	6	3	1
1	2	8	4	5	6	3	1
1	2	4	8	5	6	3	1
1	2	4	5	8	6	3	1
1	2	4	5	6	8	3	1
1	2	4	5	6	3	8	1

Delta	$(1,8) + (8,2) - (1,2)$	20,2
Delta	$(2,8) + (8,4) - (2,4)$	11,2
Delta	$(4,8) + (8,5) - (4,5)$	6,8
Delta	$(5,8) + (8,6) - (5,6)$	6,8
Delta	$(6,8) + (8,3) - (6,3)$	7,2
Delta	$(3,8) + (8,1) - (3,1)$	14,6

Inserir 9

1	9	2	4	5	6	3	1
1	2	9	4	5	6	3	1
1	2	4	9	5	6	3	1
1	2	4	5	9	6	3	1
1	2	4	5	6	9	3	1
1	2	4	5	6	3	9	1

Delta	$(1,9) + (9,2) - (1,2)$	18,9
Delta	$(2,9) + (9,4) - (2,4)$	9,9
Delta	$(4,9) + (9,5) - (4,5)$	5,5
Delta	$(5,9) + (9,6) - (5,6)$	5,5
Delta	$(6,9) + (9,3) - (6,3)$	5,9
Delta	$(3,9) + (9,1) - (3,1)$	13,3

Inserir 10

1	10	2	4	5	6	3	1
1	2	10	4	5	6	3	1
1	2	4	10	5	6	3	1
1	2	4	5	10	6	3	1
1	2	4	5	6	10	3	1
1	2	4	5	6	3	10	1

Delta	$(1,10) + (10,2) - (1,2)$	18,5
Delta	$(2,10) + (10,4) - (2,4)$	9,5
Delta	$(4,10) + (10,5) - (4,5)$	5,2
Delta	$(5,10) + (10,6) - (5,6)$	4,9
Delta	$(6,10) + (10,3) - (6,3)$	5,4
Delta	$(3,10) + (10,1) - (3,1)$	12,9

Rota 6

1	2	4	5	10	6	3	1
---	---	---	---	----	---	---	---

Inserir 7

1	7	2	4	5	10	6	3	1
1	2	7	4	5	10	6	3	1
1	2	4	7	5	10	6	3	1
1	2	4	5	7	10	6	3	1
1	2	4	5	10	7	6	3	1
1	2	4	5	10	6	7	3	1
1	2	4	5	10	6	3	7	1

Delta	$(1,7) + (7,2) - (1,2)$	20,9
Delta	$(2,7) + (7,4) - (2,4)$	11,9
Delta	$(4,7) + (7,5) - (4,5)$	7,5
Delta	$(5,7) + (7,10) - (5,10)$	3,7
Delta	$(10,7) + (7,6) - (10,6)$	2,7
Delta	$(6,7) + (7,3) - (6,3)$	7,9
Delta	$(3,7) + (7,1) - (3,1)$	15,3

Inserir 8

1	8	2	4	5	10	6	3	1
1	2	8	4	5	10	6	3	1
1	2	4	8	5	10	6	3	1
1	2	4	5	8	10	6	3	1
1	2	4	5	10	8	6	3	1
1	2	4	5	10	6	8	3	1
1	2	4	5	10	6	3	8	1

Delta	$(1,8) + (8,2) - (1,2)$	20,2
Delta	$(2,8) + (8,4) - (2,4)$	11,2
Delta	$(4,8) + (8,5) - (4,5)$	6,8
Delta	$(5,8) + (8,10) - (5,10)$	3
Delta	$(10,8) + (8,6) - (10,6)$	2,1
Delta	$(6,8) + (8,3) - (6,3)$	7,2
Delta	$(3,8) + (8,1) - (3,1)$	14,6

Inserir 9

1	9	2	4	5	10	6	3	1
1	2	9	4	5	10	6	3	1
1	2	4	9	5	10	6	3	1
1	2	4	5	9	10	6	3	1
1	2	4	5	10	9	6	3	1
1	2	4	5	10	6	9	3	1
1	2	4	5	10	6	3	9	1

Delta	$(1,9) + (9,2) - (1,2)$	18,9
Delta	$(2,9) + (9,4) - (2,4)$	9,9
Delta	$(4,9) + (9,5) - (4,5)$	5,5
Delta	$(5,9) + (9,10) - (5,10)$	1,7
Delta	$(10,9) + (9,6) - (10,6)$	1,1
Delta	$(6,9) + (9,3) - (6,3)$	5,9
Delta	$(3,9) + (9,1) - (3,1)$	13,3

Rota 7

1	2	4	5	10	9	6	3	1
---	---	---	---	----	---	---	---	---

Inserir 7

1	7	2	4	5	10	9	6	3	1
1	2	7	4	5	10	9	6	3	1
1	2	4	7	5	10	9	6	3	1
1	2	4	5	7	10	9	6	3	1
1	2	4	5	10	7	9	6	3	1
1	2	4	5	10	9	7	6	3	1
1	2	4	5	10	9	6	7	3	1
1	2	4	5	10	9	6	3	7	1

Delta	$(1,7) + (7,2) - (1,2)$	20,9
Delta	$(2,7) + (7,4) - (2,4)$	11,9
Delta	$(4,7) + (7,5) - (4,5)$	7,5
Delta	$(5,7) + (7,10) - (5,10)$	3,7
Delta	$(10,7) + (7,9) - (10,9)$	1,7
Delta	$(9,7) + (7,6) - (9,6)$	2,2
Delta	$(6,7) + (7,3) - (6,3)$	7,9
Delta	$(3,7) + (7,1) - (3,1)$	15,3

Inserir 8

1	8	2	4	5	10	9	6	3	1
1	2	8	4	5	10	9	6	3	1
1	2	4	8	5	10	9	6	3	1
1	2	4	5	8	10	9	6	3	1
1	2	4	5	10	8	9	6	3	1
1	2	4	5	10	9	8	6	3	1
1	2	4	5	10	9	6	8	3	1
1	2	4	5	10	9	6	3	8	1

Delta	$(1,8) + (8,2) - (1,2)$	20,2
Delta	$(2,8) + (8,4) - (2,4)$	11,2
Delta	$(4,8) + (8,5) - (4,5)$	6,8
Delta	$(5,8) + (8,10) - (5,10)$	3
Delta	$(10,8) + (8,9) - (10,9)$	1,4
Delta	$(9,8) + (8,6) - (9,6)$	1,8
Delta	$(6,8) + (8,3) - (6,3)$	7,2
Delta	$(3,8) + (8,1) - (3,1)$	14,6

Rota 8

1	2	4	5	10	8	9	6	3	1
---	---	---	---	----	---	---	---	---	---

Inserir 7

1	7	2	4	5	10	8	9	6	3	1
1	2	7	4	5	10	8	9	6	3	1
1	2	4	7	5	10	8	9	6	3	1
1	2	4	5	7	10	8	9	6	3	1
1	2	4	5	10	7	8	9	6	3	1
1	2	4	5	10	8	7	9	6	3	1
1	2	4	5	10	8	9	7	6	3	1
1	2	4	5	10	8	9	6	7	3	1
1	2	4	5	10	8	9	6	3	7	1

Delta	$(1,7) + (7,2) - (1,2)$	20,9
Delta	$(2,7) + (7,4) - (2,4)$	11,9
Delta	$(4,7) + (7,5) - (4,5)$	7,5
Delta	$(5,7) + (7,10) - (5,10)$	3,7
Delta	$(10,7) + (7,8) - (10,8)$	1,3
Delta	$(8,7) + (7,9) - (8,9)$	1,2
Delta	$(9,7) + (7,6) - (9,6)$	2,2
Delta	$(6,7) + (7,3) - (6,3)$	7,9
Delta	$(3,7) + (7,1) - (3,1)$	15,3

Rota Inicial

1	2	4	5	10	8	7	9	6	3	1
	1,6	4,6	2,3	3	1,4	1,3	1	2,7	4,1	4,4

Distância Total = 26,4

ANEXO E

Rota Inicial gerada pelo Algoritmo Inserção Mais Econômica na matriz Terça-Feira e Sexta-Feira

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	0	4,3	8,6	8,8	14,3	9	8,8	9,4	7,5	10,8	9,5
2	4,3	0	6,7	6,9	12,9	8,5	10	10,8	9,3	9,7	7,6
3	8,8	6,5	0	1,6	7,2	5,8	7,4	8,2	6,6	7,1	1,7
4	8,8	6,5	1,6	0	6,4	4,4	6	6,8	5,3	5,7	0,85
5	13,2	11,1	5,4	4,7	0	6,1	7,2	6,7	7,5	5,1	4,2
6	9	8,2	5,7	4,3	6,8	0	2,2	3	2,1	2,7	4,5
7	8,8	10	7,4	6	7,2	2,2	0	1,8	1,9	3	6,2
8	9,3	11,1	8,5	7,1	6,2	3,3	1,6	0	2,5	2	7,3
9	7	9	7	6,1	9,3	2,9	2,7	3,3	0	5,2	6,3
10	11,1	10	7,4	6	4,5	2,5	2,9	2	4,2	0	6,2
11	9,1	6,9	2,5	1,1	6,8	4,1	5,6	6,4	4,9	5,4	0

Rota 1

1	2	1
---	---	---

Inserir 3

1	2	3	1	
1	3	2	1	
Delta	(2,3) + (3,1) - (2,1)			11,2
Delta	(1,3) + (3,2) - (1,2)			10,8

Inserir 4

1	2	4	1	
1	4	2	1	
Delta	(2,4) + (4,1) - (2,1)			11,4
Delta	(1,4) + (4,2) - (1,2)			11

Inserir 5

1	2	5	1	
1	5	2	1	
Delta	(2,5) + (5,1) - (2,1)			21,8
Delta	(1,5) + (5,2) - (1,2)			21,1

Inserir 6

1	2	6	1
1	6	2	1

Delta	(2,6) + (6,1) - (2,1)	13,2
Delta	(1,6) + (6,2) - (1,2)	12,9

Inserir 7

1	2	7	1	
1	7	2	1	
Delta	(2,7) + (7,1) - (2,1)			14,5
Delta	(1,7) + (7,2) - (1,2)			14,5

Inserir 8

1	2	8	1	
1	8	2	1	
Delta	(2,8) + (8,1) - (2,1)			15,8
Delta	(1,8) + (8,2) - (1,2)			16,2

Inserir 9

1	2	9	1
1	9	2	1

Delta	$(2,9) + (9,1) - (2,1)$	12
Delta	$(1,9) + (9,2) - (1,2)$	12,2

Inserir 10

1	2	10	1
1	10	2	1

Delta	$(2,10) + (10,1) - (2,1)$	16,5
Delta	$(1,10) + (10,2) - (1,2)$	16,5

Inserir 11

1	2	11	1
1	11	2	1

Delta	$(2,11) + (11,1) - (2,1)$	12,4
Delta	$(1,11) + (11,2) - (1,2)$	12,1

Rota 2

1	3	2	1
---	---	---	---

Inserir 4

1	4	3	2	1
1	3	4	2	1
1	3	2	4	1

Delta	$(1,4) + (4,3) - (1,3)$	1,8
Delta	$(3,4) + (4,2) - (3,2)$	1,6
Delta	$(2,4) + (4,1) - (2,1)$	11,4

Inserir 5

1	5	3	2	1
1	3	5	2	1
1	3	2	5	1

Delta	$(1,5) + (5,3) - (1,3)$	11,1
Delta	$(3,5) + (5,2) - (3,2)$	11,8
Delta	$(2,5) + (5,1) - (2,1)$	21,8

Inserir 6

1	6	3	2	1
1	3	6	2	1
1	3	2	6	1

Delta	$(1,6) + (6,3) - (1,3)$	6,1
Delta	$(3,6) + (6,2) - (3,2)$	7,5
Delta	$(2,6) + (6,1) - (2,1)$	13,2

Inserir 7

1	7	3	2	1
1	3	7	2	1
1	3	2	7	1

Delta	$(1,7) + (7,3) - (1,3)$	7,6
Delta	$(3,7) + (7,2) - (3,2)$	10,9
Delta	$(2,7) + (7,1) - (2,1)$	14,5

Inserir 8

1	8	3	2	1
1	3	8	2	1
1	3	2	8	1

Delta	$(1,8) + (8,3) - (1,3)$	9,3
Delta	$(3,8) + (8,2) - (3,2)$	12,8
Delta	$(2,8) + (8,1) - (2,1)$	15,8

Inserir 9

1	9	3	2	1
1	3	9	2	1
1	3	2	9	1

Delta	$(1,9) + (9,3) - (1,3)$	5,9
Delta	$(3,9) + (9,2) - (3,2)$	9,1
Delta	$(2,9) + (9,1) - (2,1)$	12

Inserir 10

1	10	3	2	1
1	3	10	2	1
1	3	2	10	1

Delta	$(1,10) + (10,3) - (1,3)$	9,6
Delta	$(3,10) + (10,2) - (3,2)$	10,6
Delta	$(2,10) + (10,1) - (2,1)$	16,5

Inserir 11

1	11	3	2	1
1	3	11	2	1
1	3	2	11	1

Delta	$(1,11) + (11,3) - (1,3)$	3,4
Delta	$(3,11) + (11,2) - (3,2)$	2,1
Delta	$(2,11) + (11,1) - (2,1)$	12,4

Rota 3

1	3	4	2	1
---	---	---	---	---

Inserir 5

1	5	3	4	2	1
1	3	5	4	2	1
1	3	4	5	2	1
1	3	4	2	5	1

Delta	$(1,5) + (5,3) - (1,3)$	11,1
Delta	$(3,5) + (5,4) - (3,4)$	10,3
Delta	$(4,5) + (5,2) - (4,2)$	11
Delta	$(2,5) + (5,1) - (2,1)$	21,8

Inserir 6

1	6	3	4	2	1
1	3	6	4	2	1
1	3	4	6	2	1
1	3	4	2	6	1

Delta	$(1,6) + (6,3) - (1,3)$	6,1
Delta	$(3,6) + (6,4) - (3,4)$	8,5
Delta	$(4,6) + (6,2) - (4,2)$	6,1
Delta	$(2,6) + (6,1) - (2,1)$	13,2

Inserir 7

1	7	3	4	2	1
1	3	7	4	2	1
1	3	4	7	2	1
1	3	4	2	7	1

Delta	$(1,7) + (7,3) - (1,3)$	7,6
Delta	$(3,7) + (7,4) - (3,4)$	11,8
Delta	$(4,7) + (7,2) - (4,2)$	9,5
Delta	$(2,7) + (7,1) - (2,1)$	14,5

Inserir 8

1	8	3	4	2	1
1	3	8	4	2	1
1	3	4	8	2	1
1	3	4	2	8	1

Delta	$(1,8) + (8,3) - (1,3)$	9,3
Delta	$(3,8) + (8,4) - (3,4)$	13,7
Delta	$(4,8) + (8,2) - (4,2)$	11,4
Delta	$(2,8) + (8,1) - (2,1)$	15,8

Inserir 9

1	9	3	4	2	1
1	3	9	4	2	1
1	3	4	9	2	1
1	3	4	2	9	1

Delta	$(1,9) + (9,3) - (1,3)$	5,9
Delta	$(3,9) + (9,4) - (3,4)$	11,1
Delta	$(4,9) + (9,2) - (4,2)$	7,8
Delta	$(2,9) + (9,1) - (2,1)$	12

Inserir 10

1	10	3	4	2	1
1	3	10	4	2	1
1	3	4	10	2	1
1	3	4	2	10	1

Delta	$(1,10) + (10,3) - (1,3)$	9,6
Delta	$(3,10) + (10,4) - (3,4)$	11,5
Delta	$(4,10) + (10,2) - (4,2)$	6,1
Delta	$(2,10) + (10,1) - (2,1)$	16,5

Inserir 11

1	11	3	4	2	1
1	3	11	4	2	1
1	3	4	11	2	1
1	3	4	2	11	1

Delta	$(1,11) + (11,3) - (1,3)$	3,4
Delta	$(3,11) + (11,4) - (3,4)$	1,2
Delta	$(4,11) + (11,2) - (4,2)$	1,25
Delta	$(2,11) + (11,1) - (2,1)$	12,4

Rota 4

1	3	11	4	2	1
---	---	----	---	---	---

Inserir 5

1	5	3	11	4	2	1
1	3	5	11	4	2	1
1	3	11	5	4	2	1
1	3	11	4	5	2	1
1	3	11	4	2	5	1

Delta	$(1,5) + (5,3) - (1,3)$	11,1
Delta	$(3,5) + (5,11) - (3,11)$	9,7
Delta	$(11,5) + (5,4) - (11,4)$	10,4
Delta	$(4,5) + (5,2) - (4,2)$	11
Delta	$(2,5) + (5,1) - (2,1)$	21,8

Inserir 6

1	6	3	11	4	2	1
1	3	6	11	4	2	1
1	3	11	6	4	2	1
1	3	11	4	6	2	1
1	3	11	4	2	6	1

Delta	$(1,6) + (6,3) - (1,3)$	6,1
Delta	$(3,6) + (6,11) - (3,11)$	8,6
Delta	$(11,6) + (6,4) - (11,4)$	7,3
Delta	$(4,6) + (6,2) - (4,2)$	6,1
Delta	$(2,6) + (6,1) - (2,1)$	13,2

Inserir 7

1	7	3	11	4	2	1
1	3	7	11	4	2	1
1	3	11	7	4	2	1
1	3	11	4	7	2	1
1	3	11	4	2	7	1

Delta	$(1,7) + (7,3) - (1,3)$	7,6
Delta	$(3,7) + (7,11) - (3,11)$	11,9
Delta	$(11,7) + (7,4) - (11,4)$	10,5
Delta	$(4,7) + (7,2) - (4,2)$	9,5
Delta	$(2,7) + (7,1) - (2,1)$	14,5

Inserir 8

1	8	3	11	4	2	1
1	3	8	11	4	2	1
1	3	11	8	4	2	1
1	3	11	4	8	2	1
1	3	11	4	2	8	1

Delta	$(1,8) + (8,3) - (1,3)$	9,3
Delta	$(3,8) + (8,11) - (3,11)$	13,8
Delta	$(11,8) + (8,4) - (11,4)$	12,4
Delta	$(4,8) + (8,2) - (4,2)$	11,4
Delta	$(2,8) + (8,1) - (2,1)$	15,8

Inserir 9

1	9	3	11	4	2	1
1	3	9	11	4	2	1
1	3	11	9	4	2	1
1	3	11	4	9	2	1
1	3	11	4	2	9	1

Delta	$(1,9) + (9,3) - (1,3)$	5,9
Delta	$(3,9) + (9,11) - (3,11)$	11,2
Delta	$(11,9) + (9,4) - (11,4)$	9,9
Delta	$(4,9) + (9,2) - (4,2)$	7,8
Delta	$(2,9) + (9,1) - (2,1)$	12

Inserir 10

1	10	3	11	4	2	1
1	3	10	11	4	2	1
1	3	11	10	4	2	1
1	3	11	4	10	2	1
1	3	11	4	2	10	1

Delta	$(1,10) + (10,3) - (1,3)$	9,6
Delta	$(3,10) + (10,11) - (3,11)$	11,6
Delta	$(11,10) + (10,4) - (11,4)$	10,3
Delta	$(4,10) + (10,2) - (4,2)$	9,2
Delta	$(2,10) + (10,1) - (2,1)$	16,5

Rota 5

1	9	3	11	4	2	1
---	---	---	----	---	---	---

Inserir 5

1	5	9	3	11	4	2	1
1	9	5	3	11	4	2	1
1	9	3	5	11	4	2	1
1	9	3	11	5	4	2	1
1	9	3	11	4	5	2	1
1	9	3	11	4	2	5	1

Delta	$(1,5) + (5,9) - (1,9)$	14,3
Delta	$(9,5) + (5,3) - (9,3)$	7,7
Delta	$(3,5) + (5,11) - (3,11)$	9,7
Delta	$(11,5) + (5,4) - (11,4)$	10,4
Delta	$(4,5) + (5,2) - (4,2)$	11
Delta	$(2,5) + (5,1) - (2,1)$	21,8

Inserir 6

1	6	9	3	11	4	2	1
1	9	6	3	11	4	2	1
1	9	3	6	11	4	2	1
1	9	3	11	6	4	2	1
1	9	3	11	4	6	2	1
1	9	3	11	4	2	6	1

Delta	$(1,6) + (6,9) - (1,9)$	3,6
Delta	$(9,6) + (6,3) - (9,3)$	1,6
Delta	$(3,6) + (6,11) - (3,11)$	8,6
Delta	$(11,6) + (6,4) - (11,4)$	7,3
Delta	$(4,6) + (6,2) - (4,2)$	6,1
Delta	$(2,6) + (6,1) - (2,1)$	13,2

Inserir 7

1	7	9	3	11	4	2	1
1	9	7	3	11	4	2	1
1	9	3	7	11	4	2	1
1	9	3	11	7	4	2	1
1	9	3	11	4	7	2	1
1	9	3	11	4	2	7	1

Delta	$(1,7) + (7,9) - (1,9)$	3,2
Delta	$(9,7) + (7,3) - (9,3)$	3,1
Delta	$(3,7) + (7,11) - (3,11)$	11,9
Delta	$(11,7) + (7,4) - (11,4)$	10,5
Delta	$(4,7) + (7,2) - (4,2)$	9,5
Delta	$(2,7) + (7,1) - (2,1)$	14,5

Inserir 8

1	8	9	3	11	4	2	1
1	9	8	3	11	4	2	1
1	9	3	8	11	4	2	1
1	9	3	11	8	4	2	1
1	9	3	11	4	8	2	1
1	9	3	11	4	2	8	1

Delta	$(1,8) + (8,9) - (1,9)$	4,4
Delta	$(9,8) + (8,3) - (9,3)$	4,8
Delta	$(3,8) + (8,11) - (3,11)$	13,8
Delta	$(11,8) + (8,4) - (11,4)$	12,4
Delta	$(4,8) + (8,2) - (4,2)$	11,4
Delta	$(2,8) + (8,1) - (2,1)$	15,8

Inserir 10

1	10	9	3	11	4	2	1
1	9	10	3	11	4	2	1
1	9	3	10	11	4	2	1
1	9	3	11	10	4	2	1
1	9	3	11	4	10	2	1
1	9	3	11	4	2	10	1

Delta	$(1,10) + (10,9) - (1,9)$	7,5
Delta	$(9,10) + (10,3) - (9,3)$	5,6
Delta	$(3,10) + (10,11) - (3,11)$	11,6
Delta	$(11,10) + (10,4) - (11,4)$	10,3
Delta	$(4,10) + (10,2) - (4,2)$	9,2
Delta	$(2,10) + (10,1) - (2,1)$	16,5

Rota 6

1	9	6	3	11	4	2	1
---	---	---	---	----	---	---	---

Inserir 5

1	5	9	6	3	11	4	2	1
1	9	5	6	3	11	4	2	1
1	9	6	5	3	11	4	2	1
1	9	6	3	5	11	4	2	1
1	9	6	3	11	5	4	2	1
1	9	6	3	11	4	5	2	1
1	9	6	3	11	4	2	5	1

Delta	$(1,5) + (5,9) - (1,9)$	14,3
Delta	$(9,5) + (5,6) - (9,6)$	12,5
Delta	$(6,5) + (5,3) - (6,3)$	6,5
Delta	$(3,5) + (5,11) - (3,11)$	9,7
Delta	$(11,5) + (5,4) - (11,4)$	10,4
Delta	$(4,5) + (5,2) - (4,2)$	11
Delta	$(2,5) + (5,1) - (2,1)$	21,8

Inserir 7

1	7	9	6	3	11	4	2	1
1	9	7	6	3	11	4	2	1
1	9	6	7	3	11	4	2	1
1	9	6	3	7	11	4	2	1
1	9	6	3	11	7	4	2	1
1	9	6	3	11	4	7	2	1
1	9	6	3	11	4	2	7	1

Delta	$(1,7) + (7,9) - (1,9)$	3,2
Delta	$(9,7) + (7,6) - (9,6)$	2
Delta	$(6,7) + (7,3) - (6,3)$	3,9
Delta	$(3,7) + (7,11) - (3,11)$	11,9
Delta	$(11,7) + (7,4) - (11,4)$	10,5
Delta	$(4,7) + (7,2) - (4,2)$	9,5
Delta	$(2,7) + (7,1) - (2,1)$	14,5

Inserir 8

1	8	9	6	3	11	4	2	1
1	9	8	6	3	11	4	2	1
1	9	6	8	3	11	4	2	1
1	9	6	3	8	11	4	2	1
1	9	6	3	11	8	4	2	1
1	9	6	3	11	4	8	2	1
1	9	6	3	11	4	2	8	1

Delta	$(1,8) + (8,9) - (1,9)$	4,4
Delta	$(9,8) + (8,6) - (9,6)$	3,7
Delta	$(6,8) + (8,3) - (6,3)$	5,8
Delta	$(3,8) + (8,11) - (3,11)$	13,8
Delta	$(11,8) + (8,4) - (11,4)$	12,4
Delta	$(4,8) + (8,2) - (4,2)$	11,4
Delta	$(2,8) + (8,1) - (2,1)$	15,8

Inserir 10

1	10	9	6	3	11	4	2	1
1	9	10	6	3	11	4	2	1
1	9	6	10	3	11	4	2	1
1	9	6	3	10	11	4	2	1
1	9	6	3	11	10	4	2	1
1	9	6	3	11	4	10	2	1
1	9	6	3	11	4	2	10	1

Delta	$(1,10) + (10,9) - (1,9)$	7,5
Delta	$(9,10) + (10,6) - (9,6)$	4,8
Delta	$(6,10) + (10,3) - (6,3)$	4,4
Delta	$(3,10) + (10,11) - (3,11)$	11,6
Delta	$(11,10) + (10,4) - (11,4)$	10,3
Delta	$(4,10) + (10,2) - (4,2)$	9,2
Delta	$(2,10) + (10,1) - (2,1)$	16,5

Rota 7

1	9	7	6	3	11	4	2	1
---	---	---	---	---	----	---	---	---

Inserir 5

1	5	9	7	6	3	11	4	2	1
1	9	5	7	6	3	11	4	2	1
1	9	7	5	6	3	11	4	2	1
1	9	7	6	5	3	11	4	2	1
1	9	7	6	3	5	11	4	2	1
1	9	7	6	3	11	5	4	2	1
1	9	7	6	3	11	4	5	2	1
1	9	7	6	3	11	4	2	5	1

Delta	$(1,5) + (5,9) - (1,9)$	14,3
Delta	$(9,5) + (5,7) - (9,7)$	13,8
Delta	$(7,5) + (5,6) - (7,6)$	11,1
Delta	$(6,5) + (5,3) - (6,3)$	6,5
Delta	$(3,5) + (5,11) - (3,11)$	9,7
Delta	$(11,5) + (5,4) - (11,4)$	10,4
Delta	$(4,5) + (5,2) - (4,2)$	11
Delta	$(2,5) + (5,1) - (2,1)$	21,8

Inserir 8

1	8	9	7	6	3	11	4	2	1
1	9	8	7	6	3	11	4	2	1
1	9	7	8	6	3	11	4	2	1
1	9	7	6	8	3	11	4	2	1
1	9	7	6	3	8	11	4	2	1
1	9	7	6	3	11	8	4	2	1
1	9	7	6	3	11	4	8	2	1
1	9	7	6	3	11	4	2	8	1

Delta	$(1,8) + (8,9) - (1,9)$	4,4
Delta	$(9,8) + (8,7) - (9,7)$	2,2
Delta	$(7,8) + (8,6) - (7,6)$	2,9
Delta	$(6,8) + (8,3) - (6,3)$	5,8
Delta	$(3,8) + (8,11) - (3,11)$	13,8
Delta	$(11,8) + (8,4) - (11,4)$	12,4
Delta	$(4,8) + (8,2) - (4,2)$	11,4
Delta	$(2,8) + (8,1) - (2,1)$	15,8

Inserir 10

1	10	9	7	6	3	11	4	2	1
1	9	10	7	6	3	11	4	2	1
1	9	7	10	6	3	11	4	2	1
1	9	7	6	10	3	11	4	2	1
1	9	7	6	3	10	11	4	2	1
1	9	7	6	3	11	10	4	2	1
1	9	7	6	3	11	4	10	2	1
1	9	7	6	3	11	4	2	10	1

Delta	$(1,10) + (10,9) - (1,9)$	7,5
Delta	$(9,10) + (10,7) - (9,7)$	5,4
Delta	$(7,10) + (10,6) - (7,6)$	3,3
Delta	$(6,10) + (10,3) - (6,3)$	4,4
Delta	$(3,10) + (10,11) - (3,11)$	11,6
Delta	$(11,10) + (10,4) - (11,4)$	10,3
Delta	$(4,10) + (10,2) - (4,2)$	9,2
Delta	$(2,10) + (10,1) - (2,1)$	16,5

Rota 8

1	9	8	7	6	3	11	4	2	1
---	---	---	---	---	---	----	---	---	---

Inserir 5

1	5	9	8	7	6	3	11	4	2	1
1	9	5	8	7	6	3	11	4	2	1
1	9	8	5	7	6	3	11	4	2	1
1	9	8	7	5	6	3	11	4	2	1
1	9	8	7	6	5	3	11	4	2	1
1	9	8	7	6	3	5	11	4	2	1
1	9	8	7	6	3	11	5	4	2	1
1	9	8	7	6	3	11	4	5	2	1
1	9	8	7	6	3	11	4	2	5	1

Delta	$(1,5) + (5,9) - (1,9)$	14,3
Delta	$(9,5) + (5,8) - (9,8)$	12,7
Delta	$(8,5) + (5,7) - (8,7)$	11,8
Delta	$(7,5) + (5,6) - (7,6)$	11,1
Delta	$(6,5) + (5,3) - (6,3)$	6,5
Delta	$(3,5) + (5,11) - (3,11)$	9,7
Delta	$(11,5) + (5,4) - (11,4)$	10,4
Delta	$(4,5) + (5,2) - (4,2)$	11
Delta	$(2,5) + (5,1) - (2,1)$	21,8

Inserir 10

1	10	9	8	7	6	3	11	4	2	1
1	9	10	8	7	6	3	11	4	2	1
1	9	8	10	7	6	3	11	4	2	1
1	9	8	7	10	6	3	11	4	2	1
1	9	8	7	6	10	3	11	4	2	1
1	9	8	7	6	3	10	11	4	2	1
1	9	8	7	6	3	11	10	4	2	1
1	9	8	7	6	3	11	4	10	2	1
1	9	8	7	6	3	11	4	2	10	1

Delta	$(1,10) + (10,9) - (1,9)$	7,5
Delta	$(9,10) + (10,8) - (9,8)$	3,9
Delta	$(8,10) + (10,7) - (8,7)$	3,3
Delta	$(7,10) + (10,6) - (7,6)$	3,3
Delta	$(6,10) + (10,3) - (6,3)$	4,4
Delta	$(3,10) + (10,11) - (3,11)$	11,6
Delta	$(11,10) + (10,4) - (11,4)$	10,3
Delta	$(4,10) + (10,2) - (4,2)$	9,2
Delta	$(2,10) + (10,1) - (2,1)$	16,5

Rota 9

1	9	8	10	7	6	3	11	4	2	1
---	---	---	----	---	---	---	----	---	---	---

Inserir 5

1	5	9	8	10	7	6	3	11	4	2	1
1	9	5	8	10	7	6	3	11	4	2	1
1	9	8	5	10	7	6	3	11	4	2	1
1	9	8	10	5	7	6	3	11	4	2	1
1	9	8	10	7	5	6	3	11	4	2	1
1	9	8	10	7	6	5	3	11	4	2	1
1	9	8	10	7	6	3	5	11	4	2	1
1	9	8	10	7	6	3	11	5	4	2	1
1	9	8	10	7	6	3	11	4	5	2	1
1	9	8	10	7	6	3	11	4	2	5	1

Delta	$(1,5) + (5,9) - (1,9)$	14,3
Delta	$(9,5) + (5,8) - (9,8)$	12,7
Delta	$(8,5) + (5,10) - (8,10)$	9,3
Delta	$(10,5) + (5,7) - (10,7)$	8,8
Delta	$(7,5) + (5,6) - (7,6)$	11,1
Delta	$(6,5) + (5,3) - (6,3)$	6,5
Delta	$(3,5) + (5,11) - (3,11)$	9,7
Delta	$(11,5) + (5,4) - (11,4)$	10,4
Delta	$(4,5) + (5,2) - (4,2)$	11
Delta	$(2,5) + (5,1) - (2,1)$	21,8

Rota Inicial

1	9	8	10	7	6	5	3	11	4	2	1
	7,5	3,3	2	2,9	2,2	6,8	5,4	1,7	1,1	6,5	4,3

Distância Total = 43,7

ANEXO F

Rota Inicial gerada pelo Algoritmo Inserção Mais Econômica na matriz Quarta-Feira e Sábado

	1	2	3	4
1	0	5,1	13,1	16,4
2	4,5	0	16,2	19,5
3	12,6	16,5	0	3,5
4	16	19,9	3,5	0

Rota 1

1	2	1
---	---	---

Inserir 3

1	2	3	1
1	3	2	1

Delta	$(2,3) + (3,1) - (2,1)$	24,3
Delta	$(1,3) + (3,2) - (1,2)$	24,5

Inserir 4

1	2	4	1
1	4	2	1

Delta	$(2,4) + (4,1) - (2,1)$	31
Delta	$(1,4) + (4,2) - (1,2)$	31,2

Rota 2

1	2	3	1
---	---	---	---

Inserir 4

1	4	2	3	1
1	2	4	3	1
1	2	3	4	1

Delta	$(1,4) + (4,2) - (1,2)$	31,2
Delta	$(2,4) + (4,3) - (2,3)$	6,8
Delta	$(3,4) + (4,1) - (4,1)$	6,9

Rota Inicial

1	2	4	3	1
	5,1	19,5	3,5	12,6
Distância Total =			40,7	

ANEXO G

Rota Otimizada gerada pelo Algoritmo de Realocar posições a partir da rota inicial gerada pelo Algoritmo do Vizinho Mais Próximo na matriz de Segunda-Feira e Quinta-Feira

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0	1,6	4,4	6,1	8,4	8,4	12	11,6	11	10,4
2	1,6	0	2,9	4,6	6,8	6,9	10,5	10,1	9,5	8,8
3	4,4	3	0	2	4,2	4,2	7,9	7,4	6,8	6,2
4	7,5	6,1	3,2	0	2,3	3,4	5,9	5,5	4,9	4,3
5	8,3	6,9	4	2,9	0	0,8	4,6	4,2	3,6	3
6	8,4	7	4,1	3	0,7	0	4,4	4	3,4	2,7
7	11,8	10,5	7,6	6	3,9	3,6	0	0,9	1	2,1
8	11,6	10,2	7,3	5,7	3,6	3,4	1,3	0	1,1	1,8
9	10,9	9,5	6,6	5	2,9	2,7	1,3	1,1	0	1,1
10	11,1	9,7	6,8	5,3	3,2	2,7	1,8	1,4	1,1	0

Posição	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Rota	1	2	3	4	5	6	10	9	8	7	1

DIST
27,6

Realocar o vértice que está na posição 1

2	1	3	2	4	5	6	10	9	8	7	1
3	1	3	4	2	5	6	10	9	8	7	1
4	1	3	4	5	2	6	10	9	8	7	1
5	1	3	4	5	6	2	10	9	8	7	1
6	1	3	4	5	6	10	2	9	8	7	1
7	1	3	4	5	6	10	9	2	8	7	1
8	1	3	4	5	6	10	9	8	2	7	1
9	1	3	4	5	6	10	9	8	7	2	1

DIST
33,1
38,1
40,5
40,6
45,6
46
46,9
27,8

Realocar o vértice que está na posição 2

1	1	3	2	4	5	6	10	9	8	7	1
3	1	2	4	3	5	6	10	9	8	7	1
4	1	2	4	5	3	6	10	9	8	7	1
5	1	2	4	5	6	3	10	9	8	7	1
6	1	2	4	5	6	10	3	9	8	7	1
7	1	2	4	5	6	10	9	3	8	7	1
8	1	2	4	5	6	10	9	8	3	7	1
9	1	2	4	5	6	10	9	8	7	3	1

DIST
33,1
32,4
34,7
34,9
39,8
40,2
41,2
27,5

Realocar o vértice que está na posição 3

1	1	4	2	3	5	6	10	9	8	7	1
2	1	2	4	3	5	6	10	9	8	7	1
4	1	2	3	5	4	6	10	9	8	7	1
5	1	2	3	5	6	4	10	9	8	7	1
6	1	2	3	5	6	10	4	9	8	7	1
7	1	2	3	5	6	10	9	4	8	7	1
8	1	2	3	5	6	10	9	8	4	7	1
9	1	2	3	5	6	10	9	8	7	4	1

DIST
38,1
32,4
33
32,1
36,6
36,9
37,8
29,2

Realocar o vértice que está na posição 4

1	1	5	2	3	4	6	10	9	8	7	1
2	1	2	5	3	4	6	10	9	8	7	1
3	1	2	3	5	4	6	10	9	8	7	1
5	1	2	3	4	6	5	10	9	8	7	1
6	1	2	3	4	6	10	5	9	8	7	1
7	1	2	3	4	6	10	9	5	8	7	1
8	1	2	3	4	6	10	9	8	5	7	1
9	1	2	3	4	6	10	9	8	7	5	1

DIST
41,6
35,8
33
28,9
33,6
33,9
34,8
28,3

Realocar o vértice que está na posição 5

1	1	6	2	3	4	5	10	9	8	7	1
2	1	2	6	3	4	5	10	9	8	7	1
3	1	2	3	6	4	5	10	9	8	7	1
4	1	2	3	4	6	5	10	9	8	7	1
6	1	2	3	4	5	10	6	9	8	7	1
7	1	2	3	4	5	10	9	6	8	7	1
8	1	2	3	4	5	10	9	8	6	7	1
9	1	2	3	4	5	10	9	8	7	6	1

DIST
40,9
35,2
32,3
28,9
32,1
32,7
33,6
27,3

Realocar o vértice que está na posição 6

1	1	10	2	3	4	5	6	9	8	7	1
2	1	2	10	3	4	5	6	9	8	7	1
3	1	2	3	10	4	5	6	9	8	7	1
4	1	2	3	4	10	5	6	9	8	7	1
5	1	2	3	4	5	10	6	9	8	7	1
7	1	2	3	4	5	6	9	10	8	7	1
8	1	2	3	4	5	6	9	8	10	7	1
9	1	2	3	4	5	6	9	8	7	10	1

DIST

45,7
39,9
36,7
32,4
32,1
28,6
29,5
28,6

Realocar o vértice que está na posição 7

1	1	9	2	3	4	5	6	10	8	7	1
2	1	2	9	3	4	5	6	10	8	7	1
3	1	2	3	9	4	5	6	10	8	7	1
4	1	2	3	4	9	5	6	10	8	7	1
5	1	2	3	4	5	9	6	10	8	7	1
6	1	2	3	4	5	6	9	10	8	7	1
8	1	2	3	4	5	6	10	8	9	7	1
9	1	2	3	4	5	6	10	8	7	9	1

DIST

45,7
40
36,6
32,3
32,3
28,6
27,9
26,9

Realocar o vértice que está na posição 8

1	1	8	2	3	4	5	6	10	9	7	1
2	1	2	8	3	4	5	6	10	9	7	1
3	1	2	3	8	4	5	6	10	9	7	1
4	1	2	3	4	8	5	6	10	9	7	1
5	1	2	3	4	5	8	6	10	9	7	1
6	1	2	3	4	5	6	8	10	9	7	1
7	1	2	3	4	5	6	10	8	9	7	1
9	1	2	3	4	5	6	10	9	7	8	1

DIST

46,7
41
37,6
33,3
33,3
29,6
27,9
27,2

Realocar o vértice que está na posição 9

1	1	7	2	3	4	5	6	10	9	8	1
2	1	2	7	3	4	5	6	10	9	8	1
3	1	2	3	7	4	5	6	10	9	8	1
4	1	2	3	4	7	5	6	10	9	8	1
5	1	2	3	4	5	7	6	10	9	8	1
6	1	2	3	4	5	6	7	10	9	8	1
7	1	2	3	4	5	6	10	7	9	8	1
8	1	2	3	4	5	6	10	9	7	8	1

DIST

47
41,3
38
33,6
33,5
29,9
27,8
27,2

Rota 1

1	2	3	4	5	6	10	8	7	9	1
---	---	---	---	---	---	----	---	---	---	---

DIST

26,9

Repete-se o processo para verificar se o Rota 1 é o mínimo local

Rota 2

1	2	3	4	5	10	8	7	9	6	1
---	---	---	---	---	----	---	---	---	---	---

DIST

26,6

Repete-se o processo para verificar se o Roteiro 2 é o mínimo local

Rota 3

1	2	3	4	10	8	7	9	6	5	1
---	---	---	---	----	---	---	---	---	---	---

DIST

26,2

Repete-se o processo para verificar se o Roteiro 3 é o mínimo local

Rota 4

1	2	4	10	8	7	9	6	5	3	1
---	---	---	----	---	---	---	---	---	---	---

DIST

26

Repete-se o processo para verificar se o Roteiro 4 é o mínimo local

Mínimo Local confirmado

ANEXO H

Rota Otimizada gerada pelo Algoritmo de Realocar posições a partir da rota inicial gerada pelo Algoritmo do Vizinho Mais Próximo na matriz de Terça-Feira e Sexta-Feira

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	0	4,3	8,6	8,8	14,3	9	8,8	9,4	7,5	10,8	9,5
2	4,3	0	6,7	6,9	12,9	8,5	10	10,8	9,3	9,7	7,6
3	8,8	6,5	0	1,6	7,2	5,8	7,4	8,2	6,6	7,1	1,7
4	8,8	6,5	1,6	0	6,4	4,4	6	6,8	5,3	5,7	0,85
5	13,2	11,1	5,4	4,7	0	6,1	7,2	6,7	7,5	5,1	4,2
6	9	8,2	5,7	4,3	6,8	0	2,2	3	2,1	2,7	4,5
7	8,8	10	7,4	6	7,2	2,2	0	1,8	1,9	3	6,2
8	9,3	11,1	8,5	7,1	6,2	3,3	1,6	0	2,5	2	7,3
9	7	9	7	6,1	9,3	2,9	2,7	3,3	0	5,2	6,3
10	11,1	10	7,4	6	4,5	2,5	2,9	2	4,2	0	6,2
11	9,1	6,9	2,5	1,1	6,8	4,1	5,6	6,4	4,9	5,4	0

Posição	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Rota	1	2	3	4	6	9	7	8	10	5	11	1

DIST
43,4

Realocar o vértice que está na posição 1

2	1	3	2	4	6	9	7	8	10	5	11	1
3	1	3	4	2	6	9	7	8	10	5	11	1
4	1	3	4	6	2	9	7	8	10	5	11	1
5	1	3	4	6	9	2	7	8	10	5	11	1
6	1	3	4	6	9	7	2	8	10	5	11	1
7	1	3	4	6	9	7	8	2	10	5	11	1
8	1	3	4	6	9	7	8	10	2	5	11	1
9	1	3	4	6	9	7	8	10	5	2	11	1
10	1	3	4	6	9	7	8	10	5	11	2	1

DIST
52,8
51,6
56,4
57,3
60
59,8
59,4
55,5
43,1

Realocar o vértice que está na posição 2

1	1	3	2	4	6	9	7	8	10	5	11	1
3	1	2	4	3	6	9	7	8	10	5	11	1
4	1	2	4	6	3	9	7	8	10	5	11	1
5	1	2	4	6	9	3	7	8	10	5	11	1
6	1	2	4	6	9	7	3	8	10	5	11	1
7	1	2	4	6	9	7	8	3	10	5	11	1
8	1	2	4	6	9	7	8	10	3	5	11	1
9	1	2	4	6	9	7	8	10	5	3	11	1
10	1	2	4	6	9	7	8	10	5	11	3	1

DIST
52,8
45
52,2
53,7
55,8
55,6
52,1
44,9
44,2

Realocar o vértice que está na posição 3

1	1	4	2	3	6	9	7	8	10	5	11	1
2	1	2	4	3	6	9	7	8	10	5	11	1
4	1	2	3	6	4	9	7	8	10	5	11	1
5	1	2	3	6	9	4	7	8	10	5	11	1
6	1	2	3	6	9	7	4	8	10	5	11	1
7	1	2	3	6	9	7	8	4	10	5	11	1
8	1	2	3	6	9	7	8	10	4	5	11	1
9	1	2	3	6	9	7	8	10	5	4	11	1
10	1	2	3	6	9	7	8	10	5	11	4	1

DIST
54,2
45
50,7
52,6
54,2
54
51,1
44,55
44

Realocar o vértice que está na posição 4

1	1	6	2	3	4	9	7	8	10	5	11	1
2	1	2	6	3	4	9	7	8	10	5	11	1
3	1	2	3	6	4	9	7	8	10	5	11	1
5	1	2	3	4	9	6	7	8	10	5	11	1
6	1	2	3	4	9	7	6	8	10	5	11	1
7	1	2	3	4	9	7	8	6	10	5	11	1
8	1	2	3	4	9	7	8	10	6	5	11	1
9	1	2	3	4	9	7	8	10	5	6	11	1
10	1	2	3	4	9	7	8	10	5	11	6	1

DIST
55,1
49,7
50,7
44,6
45,6
46,2
47
48,6
46,2

Realocar o vértice que está na posição 5

1	1	9	2	3	4	6	7	8	10	5	11	1
2	1	2	9	3	4	6	7	8	10	5	11	1
3	1	2	3	9	4	6	7	8	10	5	11	1
4	1	2	3	4	9	6	7	8	10	5	11	1
6	1	2	3	4	6	7	9	8	10	5	11	1
7	1	2	3	4	6	7	8	9	10	5	11	1
8	1	2	3	4	6	7	8	10	9	5	11	1
9	1	2	3	4	6	7	8	10	5	9	11	1
10	1	2	3	4	6	7	8	10	5	11	9	1

DIST
53
50,4
51,9
44,6
44,2
46,5
49,8
50,4
43,6

Realocar o vértice que está na posição 6

1	1	7	2	3	4	6	9	8	10	5	11	1
2	1	2	7	3	4	6	9	8	10	5	11	1
3	1	2	3	7	4	6	9	8	10	5	11	1
4	1	2	3	4	7	6	9	8	10	5	11	1
5	1	2	3	4	6	7	9	8	10	5	11	1
7	1	2	3	4	6	9	8	7	10	5	11	1
8	1	2	3	4	6	9	8	10	7	5	11	1
9	1	2	3	4	6	9	8	10	5	7	11	1
10	1	2	3	4	6	9	8	10	5	11	7	1

DIST

56,7
52,9
54
46
44,2
44,8
47,8
51,4
47,5

Realocar o vértice que está na posição 7

1	1	8	2	3	4	6	9	7	10	5	11	1
2	1	2	8	3	4	6	9	7	10	5	11	1
3	1	2	3	8	4	6	9	7	10	5	11	1
4	1	2	3	4	8	6	9	7	10	5	11	1
5	1	2	3	4	6	8	9	7	10	5	11	1
6	1	2	3	4	6	9	8	7	10	5	11	1
8	1	2	3	4	6	9	7	10	8	5	11	1
9	1	2	3	4	6	9	7	10	5	8	11	1
10	1	2	3	4	6	9	7	10	5	11	8	1

DIST

58,8
55,2
56,3
48,3
46
44,8
46,3
52,4
49,2

Realocar o vértice que está na posição 8

1	1	10	2	3	4	6	9	7	8	5	11	1
2	1	2	10	3	4	6	9	7	8	5	11	1
3	1	2	3	10	4	6	9	7	8	5	11	1
4	1	2	3	4	10	6	9	7	8	5	11	1
5	1	2	3	4	6	10	9	7	8	5	11	1
6	1	2	3	4	6	9	10	7	8	5	11	1
7	1	2	3	4	6	9	7	10	8	5	11	1
9	1	2	3	4	6	9	7	8	5	10	11	1
10	1	2	3	4	6	9	7	8	5	11	10	1

DIST

59,6
53,5
54,6
46,9
47,9
48,5
46,3
50,2
50,5

Realocar o vértice que está na posição 9

1	1	5	2	3	4	6	9	7	8	10	11	1
2	1	2	5	3	4	6	9	7	8	10	11	1
3	1	2	3	5	4	6	9	7	8	10	11	1
4	1	2	3	4	5	6	9	7	8	10	11	1
5	1	2	3	4	6	5	9	7	8	10	11	1
6	1	2	3	4	6	9	5	7	8	10	11	1
7	1	2	3	4	6	9	7	5	8	10	11	1
8	1	2	3	4	6	9	7	8	5	10	11	1
10	1	2	3	4	6	9	7	8	10	11	5	1

DIST

62
52,5
51,2
49
53,1
54,7
53
50,2
51,8

Realocar o vértice que está na posição 10

1	1	11	2	3	4	6	9	7	8	10	5	1
2	1	2	11	3	4	6	9	7	8	10	5	1
3	1	2	3	11	4	6	9	7	8	10	5	1
4	1	2	3	4	11	6	9	7	8	10	5	1
5	1	2	3	4	6	11	9	7	8	10	5	1
6	1	2	3	4	6	9	11	7	8	10	5	1
7	1	2	3	4	6	9	7	11	8	10	5	1
8	1	2	3	4	6	9	7	8	11	10	5	1
9	1	2	3	4	6	9	7	8	10	11	5	1

DIST

55,4
46,7
44,5
43,85
50,6
52,5
54,1
54
51,8

Roteiro 1

1	3	4	6	9	7	8	10	5	11	2	1
---	---	---	---	---	---	---	----	---	----	---	---

DIST

43,1

Repete-se o processo para verificar se o Roteiro 1 é o mínimo local

Mínimo Local confirmado

ANEXO I

Rota Otimizada gerada pelo Algoritmo de Realocar posições a partir da rota inicial gerada pelo Algoritmo do Vizinho Mais Próximo na matriz de Quarta-Feira e Sábado

	1	2	3	4
1	0	5,1	13,1	16,4
2	4,5	0	16,2	19,5
3	12,6	16,5	0	3,5
4	16	19,9	3,5	0

0	1	2	3	4
1	2	3	4	1

DIST
40,8

Realocar o vértice que está na posição 1

2	1	3	2	4	1
3	1	3	4	2	1

DIST
65,1
41

Realocar o vértice que está na posição 2

1	1	3	2	4	1
3	1	2	4	3	1

DIST
65,1
40,7

Realocar o vértice que está na posição 3

1	1	4	2	3	1
2	1	2	4	3	1

DIST
65,1
40,7

Roteiro 1

1	2	4	3	1
---	---	---	---	---

DIST
40,7

Repete-se o processo para verificar se o Roteiro 1 é o mínimo local

Mínimo Local confirmado

ANEXO J

Rota Otimizada gerada pelo Algoritmo de Realocar posições a partir da rota inicial gerada pelo Algoritmo de Inserção Mais Econômica na matriz de Segunda-Feira e Quinta-Feira

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0	1,6	4,4	6,1	8,4	8,4	12	11,6	11	10,4
2	1,6	0	2,9	4,6	6,8	6,9	10,5	10,1	9,5	8,8
3	4,4	3	0	2	4,2	4,2	7,9	7,4	6,8	6,2
4	7,5	6,1	3,2	0	2,3	3,4	5,9	5,5	4,9	4,3
5	8,3	6,9	4	2,9	0	0,8	4,6	4,2	3,6	3
6	8,4	7	4,1	3	0,7	0	4,4	4	3,4	2,7
7	11,8	10,5	7,6	6	3,9	3,6	0	0,9	1	2,1
8	11,6	10,2	7,3	5,7	3,6	3,4	1,3	0	1,1	1,8
9	10,9	9,5	6,6	5	2,9	2,7	1,3	1,1	0	1,1
10	11,1	9,7	6,8	5,3	3,2	2,7	1,8	1,4	1,1	0

Posição	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Rota	1	2	4	5	10	8	7	9	6	3	1

DIST
26,4

Realocar o vértice que está na posição 1

2	1	4	2	5	10	8	7	9	6	3	1
3	1	4	5	2	10	8	7	9	6	3	1
4	1	4	5	10	2	8	7	9	6	3	1
5	1	4	5	10	8	2	7	9	6	3	1
6	1	4	5	10	8	7	2	9	6	3	1
7	1	4	5	10	8	7	9	2	6	3	1
8	1	4	5	10	8	7	9	6	2	3	1
9	1	4	5	10	8	7	9	6	3	2	1

DIST
36,9
39
44,7
45,7
45,3
40
32,1
26,5

Realocar o vértice que está na posição 2

1	1	4	2	5	10	8	7	9	6	3	1
3	1	2	5	4	10	8	7	9	6	3	1
4	1	2	5	10	4	8	7	9	6	3	1
5	1	2	5	10	8	4	7	9	6	3	1
6	1	2	5	10	8	7	4	9	6	3	1
7	1	2	5	10	8	7	9	4	6	3	1
8	1	2	5	10	8	7	9	6	4	3	1
9	1	2	5	10	8	7	9	6	3	4	1

DIST
36,9
30,5
35,7
36,6
36,2
32
28,4
31,4

Realocar o vértice que está na posição 3

1	1	5	2	4	10	8	7	9	6	3	1
2	1	2	5	4	10	8	7	9	6	3	1
4	1	2	4	10	5	8	7	9	6	3	1
5	1	2	4	10	8	5	7	9	6	3	1
6	1	2	4	10	8	7	5	9	6	3	1
7	1	2	4	10	8	7	9	5	6	3	1
8	1	2	4	10	8	7	9	6	5	3	1
9	1	2	4	10	8	7	9	6	3	5	1

DIST
39,1
30,5
31,4
32,3
31,9
26,4
26
33,5

Realocar o vértice que está na posição 4

1	1	10	2	4	5	8	7	9	6	3	1
2	1	2	10	4	5	8	7	9	6	3	1
3	1	2	4	10	5	8	7	9	6	3	1
5	1	2	4	5	8	10	7	9	6	3	1
6	1	2	4	5	8	7	10	9	6	3	1
7	1	2	4	5	8	7	9	10	6	3	1
8	1	2	4	5	8	7	9	6	10	3	1
9	1	2	4	5	8	7	9	6	3	10	1

DIST
44,7
35,7
31,4
28,5
28,4
27,3
31,6
39,1

Realocar o vértice que está na posição 5

1	1	8	2	4	5	10	7	9	6	3	1
2	1	2	8	4	5	10	7	9	6	3	1
3	1	2	4	8	5	10	7	9	6	3	1
4	1	2	4	5	8	10	7	9	6	3	1
6	1	2	4	5	10	7	8	9	6	3	1
7	1	2	4	5	10	7	9	8	6	3	1
8	1	2	4	5	10	7	9	6	8	3	1
9	1	2	4	5	10	7	9	6	3	8	1

DIST
45,7
36,7
32,3
28,5
26,5
27,3
32,7
40,1

Realocar o vértice que está na posição 6

1	1	7	2	4	5	10	8	9	6	3	1
2	1	2	7	4	5	10	8	9	6	3	1
3	1	2	4	7	5	10	8	9	6	3	1
4	1	2	4	5	7	10	8	9	6	3	1
5	1	2	4	5	10	7	8	9	6	3	1
7	1	2	4	5	10	8	9	7	6	3	1
8	1	2	4	5	10	8	9	6	7	3	1
9	1	2	4	5	10	8	9	6	3	7	1

DIST

46,1
37,1
32,7
28,9
26,5
27,4
33,1
40,5

Realocar o vértice que está na posição 7

1	1	9	2	4	5	10	8	7	6	3	1
2	1	2	9	4	5	10	8	7	6	3	1
3	1	2	4	9	5	10	8	7	6	3	1
4	1	2	4	5	9	10	8	7	6	3	1
5	1	2	4	5	10	9	8	7	6	3	1
6	1	2	4	5	10	8	9	7	6	3	1
8	1	2	4	5	10	8	7	6	9	3	1
9	1	2	4	5	10	8	7	6	3	9	1

DIST

45,2
36,2
31,8
28
27,1
27,4
32,2
39,6

Realocar o vértice que está na posição 8

1	1	6	2	4	5	10	8	7	9	3	1
2	1	2	6	4	5	10	8	7	9	3	1
3	1	2	4	6	5	10	8	7	9	3	1
4	1	2	4	5	6	10	8	7	9	3	1
5	1	2	4	5	10	6	8	7	9	3	1
6	1	2	4	5	10	8	6	7	9	3	1
7	1	2	4	5	10	8	7	6	9	3	1
9	1	2	4	5	10	8	7	9	3	6	1

DIST

40
31,5
28
26,7
31,5
32,7
32,2
34,4

Realocar o vértice que está na posição 9

1	1	3	2	4	5	10	8	7	9	6	1
2	1	2	3	4	5	10	8	7	9	6	1
3	1	2	4	3	5	10	8	7	9	6	1
4	1	2	4	5	3	10	8	7	9	6	1
5	1	2	4	5	10	3	8	7	9	6	1
6	1	2	4	5	10	8	3	7	9	6	1
7	1	2	4	5	10	8	7	3	9	6	1
8	1	2	4	5	10	8	7	9	3	6	1

DIST

32,1
26,6
31,4
33,5
39,1
40,2
39,7
34,4

Roteiro 1

1	2	4	10	8	7	9	6	5	3	1
---	---	---	----	---	---	---	---	---	---	---

DIST

26

Repete-se o processo para verificar se o Roteiro 1 é o mínimo local

Mínimo Local confirmado

ANEXO K

Rota Otimizada gerada pelo Algoritmo de Realocar posições a partir da rota inicial gerada pelo Algoritmo de Inserção Mais Econômica na matriz de Terça-Feira e Sexta-Feira

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	0	4,3	8,6	8,8	14,3	9	8,8	9,4	7,5	10,8	9,5
2	4,3	0	6,7	6,9	12,9	8,5	10	10,8	9,3	9,7	7,6
3	8,8	6,5	0	1,6	7,2	5,8	7,4	8,2	6,6	7,1	1,7
4	8,8	6,5	1,6	0	6,4	4,4	6	6,8	5,3	5,7	0,85
5	13,2	11,1	5,4	4,7	0	6,1	7,2	6,7	7,5	5,1	4,2
6	9	8,2	5,7	4,3	6,8	0	2,2	3	2,1	2,7	4,5
7	8,8	10	7,4	6	7,2	2,2	0	1,8	1,9	3	6,2
8	9,3	11,1	8,5	7,1	6,2	3,3	1,6	0	2,5	2	7,3
9	7	9	7	6,1	9,3	2,9	2,7	3,3	0	5,2	6,3
10	11,1	10	7,4	6	4,5	2,5	2,9	2	4,2	0	6,2
11	9,1	6,9	2,5	1,1	6,8	4,1	5,6	6,4	4,9	5,4	0

Posição	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Rota	1	9	8	10	7	6	5	3	11	4	2	1

DIST
43,7

Realocar o vértice que está na posição 1

2	1	8	9	10	7	6	5	3	11	4	2	1
3	1	8	10	9	7	6	5	3	11	4	2	1
4	1	8	10	7	9	6	5	3	11	4	2	1
5	1	8	10	7	6	9	5	3	11	4	2	1
6	1	8	10	7	6	5	9	3	11	4	2	1
7	1	8	10	7	6	5	3	9	11	4	2	1
8	1	8	10	7	6	5	3	11	9	4	2	1
9	1	8	10	7	6	5	3	11	4	9	2	1
10	1	8	10	7	6	5	3	11	4	2	9	1

DIST
48
46,3
44,9
46,9
51,4
53,5
52,2
50,1
54,3

Realocar o vértice que está na posição 2

1	1	8	9	10	7	6	5	3	11	4	2	1
3	1	9	10	8	7	6	5	3	11	4	2	1
4	1	9	10	7	8	6	5	3	11	4	2	1
5	1	9	10	7	6	8	5	3	11	4	2	1
6	1	9	10	7	6	5	8	3	11	4	2	1
7	1	9	10	7	6	5	3	8	11	4	2	1
8	1	9	10	7	6	5	3	11	8	4	2	1
9	1	9	10	7	6	5	3	11	4	8	2	1
10	1	9	10	7	6	5	3	11	4	2	8	1

DIST
48
44,3
46,5
46
53,4
57,4
56
55
59,4

Realocar o vértice que está na posição 3

1	1	10	9	8	7	6	5	3	11	4	2	1
2	1	9	10	8	7	6	5	3	11	4	2	1
4	1	9	8	7	10	6	5	3	11	4	2	1
5	1	9	8	7	6	10	5	3	11	4	2	1
6	1	9	8	7	6	5	10	3	11	4	2	1
7	1	9	8	7	6	5	3	10	11	4	2	1
8	1	9	8	7	6	5	3	11	10	4	2	1
9	1	9	8	7	6	5	3	11	4	10	2	1
10	1	9	8	7	6	5	3	11	4	2	10	1

DIST
47,9
44,3
43,7
40,8
47,5
52
50,7
49,6
56,9

Realocar o vértice que está na posição 4

1	1	7	9	8	10	6	5	3	11	4	2	1
2	1	9	7	8	10	6	5	3	11	4	2	1
3	1	9	8	7	10	6	5	3	11	4	2	1
5	1	9	8	10	6	7	5	3	11	4	2	1
6	1	9	8	10	6	5	7	3	11	4	2	1
7	1	9	8	10	6	5	3	7	11	4	2	1
8	1	9	8	10	6	5	3	11	7	4	2	1
9	1	9	8	10	6	5	3	11	4	7	2	1
10	1	9	8	10	6	5	3	11	4	2	7	1

DIST
44,3
42,3
43,7
43,7
50,3
53
51,6
50,6
55,6

Realocar o vértice que está na posição 5

1	1	6	9	8	10	7	5	3	11	4	2	1
2	1	9	6	8	10	7	5	3	11	4	2	1
3	1	9	8	6	10	7	5	3	11	4	2	1
4	1	9	8	10	6	7	5	3	11	4	2	1
6	1	9	8	10	7	5	6	3	11	4	2	1
7	1	9	8	10	7	5	3	6	11	4	2	1
8	1	9	8	10	7	5	3	11	6	4	2	1
9	1	9	8	10	7	5	3	11	4	6	2	1
10	1	9	8	10	7	5	3	11	4	2	6	1

DIST
45,5
44,5
45,9
43,7
48,3
50,5
49,2
48
55,1

Realocar o vértice que está na posição 6

1	1	5	9	8	10	7	6	3	11	4	2	1
2	1	9	5	8	10	7	6	3	11	4	2	1
3	1	9	8	5	10	7	6	3	11	4	2	1
4	1	9	8	10	5	7	6	3	11	4	2	1
5	1	9	8	10	7	5	6	3	11	4	2	1
7	1	9	8	10	7	6	3	5	11	4	2	1
8	1	9	8	10	7	6	3	11	5	4	2	1
9	1	9	8	10	7	6	3	11	4	5	2	1
10	1	9	8	10	7	6	3	11	4	2	5	1

DIST

51,5
49,9
46,5
46
48,3
46,9
47,6
48,2
59

Realocar o vértice que está na posição 7

1	1	3	9	8	10	7	6	5	11	4	2	1
2	1	9	3	8	10	7	6	5	11	4	2	1
3	1	9	8	3	10	7	6	5	11	4	2	1
4	1	9	8	10	3	7	6	5	11	4	2	1
5	1	9	8	10	7	3	6	5	11	4	2	1
6	1	9	8	10	7	6	3	5	11	4	2	1
8	1	9	8	10	7	6	5	11	3	4	2	1
9	1	9	8	10	7	6	5	11	4	3	2	1
10	1	9	8	10	7	6	5	11	4	2	3	1

DIST

48,5
52,7
54,4
52,7
51,8
46,9
43,8
42,4
52

Realocar o vértice que está na posição 8

1	1	11	9	8	10	7	6	5	3	4	2	1
2	1	9	11	8	10	7	6	5	3	4	2	1
3	1	9	8	11	10	7	6	5	3	4	2	1
4	1	9	8	10	11	7	6	5	3	4	2	1
5	1	9	8	10	7	11	6	5	3	4	2	1
6	1	9	8	10	7	6	11	5	3	4	2	1
7	1	9	8	10	7	6	5	11	3	4	2	1
9	1	9	8	10	7	6	5	3	4	11	2	1
10	1	9	8	10	7	6	5	3	4	2	11	1

DIST

49,4
51,9
53,2
51,4
50,6
47
43,8
43,75
54,9

Realocar o vértice que está na posição 9

1	1	4	9	8	10	7	6	5	3	11	2	1
2	1	9	4	8	10	7	6	5	3	11	2	1
3	1	9	8	4	10	7	6	5	3	11	2	1
4	1	9	8	10	4	7	6	5	3	11	2	1
5	1	9	8	10	7	4	6	5	3	11	2	1
6	1	9	8	10	7	6	4	5	3	11	2	1
7	1	9	8	10	7	6	5	4	3	11	2	1
8	1	9	8	10	7	6	5	3	4	11	2	1
10	1	9	8	10	7	6	5	3	11	2	4	1

DIST

49,6
52,6
53,8
52,1
51,2
46,9
43,9
43,75
54,4

Realocar o vértice que está na posição 10

1	1	2	9	8	10	7	6	5	3	11	4	1
2	1	9	2	8	10	7	6	5	3	11	4	1
3	1	9	8	2	10	7	6	5	3	11	4	1
4	1	9	8	10	2	7	6	5	3	11	4	1
5	1	9	8	10	7	2	6	5	3	11	4	1
6	1	9	8	10	7	6	2	5	3	11	4	1
7	1	9	8	10	7	6	5	2	3	11	4	1
8	1	9	8	10	7	6	5	3	2	11	4	1
9	1	9	8	10	7	6	5	3	11	2	4	1

DIST

47,8
58,2
60,5
58,8
58
56
54,1
54,1
54,4

Roteiro 1

1	9	8	7	6	10	5	3	11	4	2	1
---	---	---	---	---	----	---	---	----	---	---	---

DIST

40,8

Repete-se o processo para verificar se o Roteiro 1 é o mínimo local

Roteiro 2

1	9	8	7	6	10	5	11	4	3	2	1
---	---	---	---	---	----	---	----	---	---	---	---

DIST

39,5

Repete-se o processo para verificar se o Roteiro 2 é o mínimo local

Mínimo Local confirmado

ANEXO L

Rota Otimizada gerada pelo Algoritmo de Realocar posições a partir da rota inicial gerada pelo Algoritmo de Inserção Mais Econômica na matriz de Quarta-Feira e Sábado

	1	2	3	4
1	0	5,1	13,1	16,4
2	4,5	0	16,2	19,5
3	12,6	16,5	0	3,5
4	16	19,9	3,5	0

Posição	0	1	2	3	4	DIST
Rota	1	2	4	3	1	40,7

Realocar o vértice que está na posição 1

2	1	4	2	3	1	DIST
3	1	4	3	2	1	65,1
						40,9

Realocar o vértice que está na posição 2

1	1	4	2	3	1	DIST
3	1	2	3	4	1	65,1
						40,8

Realocar o vértice que está na posição 3

1	1	3	2	4	1	DIST
2	1	2	3	4	1	65,1
						40,8

Mínimo Local confirmado

ANEXO M

Rota Otimizada gerada pelo Algoritmo de Trocar posições a partir da rota inicial gerada pelo Algoritmo do Vizinho Mais Próximo na matriz de Segunda-Feira e Quinta-Feira

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0	1,6	4,4	6,1	8,4	8,4	12	11,6	11	10,4
2	1,6	0	2,9	4,6	6,8	6,9	10,5	10,1	9,5	8,8
3	4,4	3	0	2	4,2	4,2	7,9	7,4	6,8	6,2
4	7,5	6,1	3,2	0	2,3	3,4	5,9	5,5	4,9	4,3
5	8,3	6,9	4	2,9	0	0,8	4,6	4,2	3,6	3
6	8,4	7	4,1	3	0,7	0	4,4	4	3,4	2,7
7	11,8	10,5	7,6	6	3,9	3,6	0	0,9	1	2,1
8	11,6	10,2	7,3	5,7	3,6	3,4	1,3	0	1,1	1,8
9	10,9	9,5	6,6	5	2,9	2,7	1,3	1,1	0	1,1
10	11,1	9,7	6,8	5,3	3,2	2,7	1,8	1,4	1,1	0

Posição	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	DIST
Rota	1	2	3	4	5	6	10	9	8	7	1	27,6

1;2	1	3	2	4	5	6	10	9	8	7	1	33,1
1;3	1	4	3	2	5	6	10	9	8	7	1	37,9
1;4	1	5	3	4	2	6	10	9	8	7	1	45,4
1;5	1	6	3	4	5	2	10	9	8	7	1	47,8
1;6	1	10	3	4	5	6	2	9	8	7	1	53
1;7	1	9	3	4	5	6	10	2	8	7	1	58,3
1;8	1	8	3	4	5	6	10	9	2	7	1	59,6
1;9	1	7	3	4	5	6	10	9	8	2	1	41,4
2;3	1	2	4	3	5	6	10	9	8	7	1	32,4
2;4	1	2	5	4	3	6	10	9	8	7	1	36,7
2;5	1	2	6	4	5	3	10	9	8	7	1	39,3
2;6	1	2	10	4	5	6	3	9	8	7	1	43,9
2;7	1	2	9	4	5	6	10	3	8	7	1	49,2
2;8	1	2	8	4	5	6	10	9	3	7	1	50,6
2;9	1	2	7	4	5	6	10	9	8	3	1	37,8
3;4	1	2	3	5	4	6	10	9	8	7	1	33
3;5	1	2	3	6	5	4	10	9	8	7	1	31,9
3;6	1	2	3	10	5	6	4	9	8	7	1	36,8
3;7	1	2	3	9	5	6	10	4	8	7	1	41,6
3;8	1	2	3	8	5	6	10	9	4	7	1	42,8
3;9	1	2	3	7	5	6	10	9	8	4	1	35,2
4;5	1	2	3	4	6	5	10	9	8	7	1	28,9
4;6	1	2	3	4	10	6	5	9	8	7	1	32
4;7	1	2	3	4	9	6	10	5	8	7	1	37,3
4;8	1	2	3	4	8	6	10	9	5	7	1	38,5
4;9	1	2	3	4	7	6	10	9	8	5	1	32,8
5;6	1	2	3	4	5	10	6	9	8	7	1	32,1
5;7	1	2	3	4	5	9	10	6	8	7	1	33,3
5;8	1	2	3	4	5	8	10	9	6	7	1	34,8
5;9	1	2	3	4	5	7	10	9	8	6	1	29,5
6;7	1	2	3	4	5	6	9	10	8	7	1	28,6
6;8	1	2	3	4	5	6	8	9	10	7	1	29,4
6;9	1	2	3	4	5	6	7	9	8	10	1	29
7;8	1	2	3	4	5	6	10	8	9	7	1	27,9
7;9	1	2	3	4	5	6	10	7	8	9	1	27
8;9	1	2	3	4	5	6	10	9	7	8	1	27,2

Roteiro 1												DIST
1	2	3	4	5	6	10	7	8	9	1		27

Repete-se o processo para verificar se o Roteiro 1 é o mínimo local

Roteiro 2												DIST
1	2	3	4	5	6	10	8	7	9	1		26,9

Mínimo Local confirmado

ANEXO N

Rota Otimizada gerada pelo Algoritmo de Trocar posições a partir da rota inicial gerada pelo Algoritmo do Vizinho Mais Próximo na matriz de Terça-Feira e Sexta-Feira

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	0	4,3	8,6	8,8	14,3	9	8,8	9,4	7,5	10,8	9,5
2	4,3	0	6,7	6,9	12,9	8,5	10	10,8	9,3	9,7	7,6
3	8,8	6,5	0	1,6	7,2	5,8	7,4	8,2	6,6	7,1	1,7
4	8,8	6,5	1,6	0	6,4	4,4	6	6,8	5,3	5,7	0,85
5	13,2	11,1	5,4	4,7	0	6,1	7,2	6,7	7,5	5,1	4,2
6	9	8,2	5,7	4,3	6,8	0	2,2	3	2,1	2,7	4,5
7	8,8	10	7,4	6	7,2	2,2	0	1,8	1,9	3	6,2
8	9,3	11,1	8,5	7,1	6,2	3,3	1,6	0	2,5	2	7,3
9	7	9	7	6,1	9,3	2,9	2,7	3,3	0	5,2	6,3
10	11,1	10	7,4	6	4,5	2,5	2,9	2	4,2	0	6,2
11	9,1	6,9	2,5	1,1	6,8	4,1	5,6	6,4	4,9	5,4	0

Posição	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	DIST
Rota	1	2	3	4	6	9	7	8	10	5	11	1	43,4

1;2	1	3	2	4	6	9	7	8	10	5	11	1	52,8
1;3	1	4	3	2	6	9	7	8	10	5	11	1	51,8
1;4	1	6	3	4	2	9	7	8	10	5	11	1	56,4
1;5	1	9	3	4	6	2	7	8	10	5	11	1	60,3
1;6	1	7	3	4	6	9	2	8	10	5	11	1	63,9
1;7	1	8	3	4	6	9	7	2	10	5	11	1	66,2
1;8	1	10	3	4	6	9	7	8	2	5	11	1	68,1
1;9	1	5	3	4	6	9	7	8	10	2	11	1	61
1;10	1	11	3	4	6	9	7	8	10	5	2	1	46,5
2;3	1	2	4	3	6	9	7	8	10	5	11	1	45
2;4	1	2	6	4	3	9	7	8	10	5	11	1	49,6
2;5	1	2	9	4	6	3	7	8	10	5	11	1	58,8
2;6	1	2	7	4	6	9	3	8	10	5	11	1	61,8
2;7	1	2	8	4	6	9	7	3	10	5	11	1	63,7
2;8	1	2	10	4	6	9	7	8	3	5	11	1	60
2;9	1	2	5	4	6	9	7	8	10	3	11	1	53,1
2;10	1	2	11	4	6	9	7	8	10	5	3	1	44,7
3;4	1	2	3	6	4	9	7	8	10	5	11	1	50,7
3;5	1	2	3	9	6	4	7	8	10	5	11	1	52,4
3;6	1	2	3	7	6	9	4	8	10	5	11	1	55,4
3;7	1	2	3	8	6	9	7	4	10	5	11	1	56,8
3;8	1	2	3	10	6	9	7	8	4	5	11	1	54
3;9	1	2	3	5	6	9	7	8	10	4	11	1	48,85
3;10	1	2	3	11	6	9	7	8	10	5	4	1	43,4
4;5	1	2	3	4	9	6	7	8	10	5	11	1	44,6
4;6	1	2	3	4	7	9	6	8	10	5	11	1	46,2
4;7	1	2	3	4	8	9	7	6	10	5	11	1	47,3
4;8	1	2	3	4	10	9	7	8	6	5	11	1	50,4
4;9	1	2	3	4	5	9	7	8	10	6	11	1	49,1
4;10	1	2	3	4	11	9	7	8	10	5	6	1	44,45
5;6	1	2	3	4	6	7	9	8	10	5	11	1	44,2
5;7	1	2	3	4	6	8	7	9	10	5	11	1	46,5
5;8	1	2	3	4	6	10	7	8	9	5	11	1	49,5
5;9	1	2	3	4	6	5	7	8	10	9	11	1	54,4
5;10	1	2	3	4	6	11	7	8	10	5	9	1	49,9
6;7	1	2	3	4	6	9	8	7	10	5	11	1	44,8
6;8	1	2	3	4	6	9	10	8	7	5	11	1	48,4
6;9	1	2	3	4	6	9	5	8	10	7	11	1	55,3
6;10	1	2	3	4	6	9	11	8	10	5	7	1	54,3
7;8	1	2	3	4	6	9	7	10	8	5	11	1	46,3
7;9	1	2	3	4	6	9	7	5	10	8	11	1	52,5
7;10	1	2	3	4	6	9	7	11	10	5	8	1	53,9
8;9	1	2	3	4	6	9	7	8	5	10	11	1	50,2
8;10	1	2	3	4	6	9	7	8	11	5	10	1	53,9
9;10	1	2	3	4	6	9	7	8	10	11	5	1	51,8

Roteiro 1

1	2	3	11	6	9	7	8	10	5	4	1	DIST
1	2	3	4	6	9	7	8	10	5	11	1	43,4

Repete-se o processo para verificar se o Roteiro 1 é o mínimo local

Mínimo Local confirmado

ANEXO O

Rota Otimizada gerada pelo Algoritmo de Trocar posições a partir da rota inicial gerada pelo Algoritmo do Vizinho Mais Próximo na matriz de Quarta-Feira e Sábado

	1	2	3	4
1	0	5,1	13,1	16,4
2	4,5	0	16,2	19,5
3	12,6	16,5	0	3,5
4	16	19,9	3,5	0

Posição	0	1	2	3	4	DIST
Rota	1	2	3	4	1	40,8

1;2	1	3	2	4	1	65,1
1;3	1	4	3	2	1	40,9
2;3	1	2	4	3	1	40,7

Roteiro 1					DIST
1	2	4	3	1	40,7

Repete-se o processo para verificar se o Roteiro 1 é o mínimo local

Mínimo Local confirmado

ANEXO P

Rota Otimizada gerada pelo Algoritmo de Trocar posições a partir da rota inicial gerada pelo Algoritmo de Inserção Mais Econômica na matriz de Segunda-Feira e Quinta-Feira

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0	1,6	4,4	6,1	8,4	8,4	12	11,6	11	10,4
2	1,6	0	2,9	4,6	6,8	6,9	10,5	10,1	9,5	8,8
3	4,4	3	0	2	4,2	4,2	7,9	7,4	6,8	6,2
4	7,5	6,1	3,2	0	2,3	3,4	5,9	5,5	4,9	4,3
5	8,3	6,9	4	2,9	0	0,8	4,6	4,2	3,6	3
6	8,4	7	4,1	3	0,7	0	4,4	4	3,4	2,7
7	11,8	10,5	7,6	6	3,9	3,6	0	0,9	1	2,1
8	11,6	10,2	7,3	5,7	3,6	3,4	1,3	0	1,1	1,8
9	10,9	9,5	6,6	5	2,9	2,7	1,3	1,1	0	1,1
10	11,1	9,7	6,8	5,3	3,2	2,7	1,8	1,4	1,1	0

Posição	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	DIST
Rota	1	2	4	5	10	8	7	9	6	3	1	26,4

1;2	1	4	2	5	10	8	7	9	6	3	1	36,9
1;3	1	5	4	2	10	8	7	9	6	3	1	41,1
1;4	1	10	4	5	2	8	7	9	6	3	1	48,5
1;5	1	8	4	5	10	2	7	9	6	3	1	55
1;6	1	7	4	5	10	8	2	9	6	3	1	55,6
1;7	1	9	4	5	10	8	7	2	6	3	1	49,9
1;8	1	6	4	5	10	8	7	9	2	3	1	37,2
1;9	1	3	4	5	10	8	7	9	6	2	1	26,7
2;3	1	2	5	4	10	8	7	9	6	3	1	30,5
2;4	1	2	10	5	4	8	7	9	6	3	1	35,5
2;5	1	2	8	5	10	4	7	9	6	3	1	41,7
2;6	1	2	7	5	10	8	4	9	6	3	1	42,2
2;7	1	2	9	5	10	8	7	4	6	3	1	37,6
2;8	1	2	6	5	10	8	7	9	4	3	1	28,5
2;9	1	2	3	5	10	8	7	9	6	4	1	28,6
3;4	1	2	4	10	5	8	7	9	6	3	1	31,4
3;5	1	2	4	8	10	5	7	9	6	3	1	33,5
3;6	1	2	4	7	10	8	5	9	6	3	1	34
3;7	1	2	4	9	10	8	7	5	6	3	1	28,1
3;8	1	2	4	6	10	8	7	9	5	3	1	27,3
3;9	1	2	4	3	10	8	7	9	6	5	1	31
4;5	1	2	4	5	8	10	7	9	6	3	1	28,5
4;6	1	2	4	5	7	8	10	9	6	3	1	28,1
4;7	1	2	4	5	9	8	7	10	6	3	1	27,8
4;8	1	2	4	5	6	8	7	9	10	3	1	27,9
4;9	1	2	4	5	3	8	7	9	6	10	1	38,7
5;6	1	2	4	5	10	7	8	9	6	3	1	26,5
5;7	1	2	4	5	10	9	7	8	6	3	1	26,7
5;8	1	2	4	5	10	6	7	9	8	3	1	32,4
5;9	1	2	4	5	10	3	7	9	6	8	1	45,5
6;7	1	2	4	5	10	8	9	7	6	3	1	27,4
6;8	1	2	4	5	10	8	6	9	7	3	1	33
6;9	1	2	4	5	10	8	3	9	6	7	1	45,9
7;8	1	2	4	5	10	8	7	6	9	3	1	32,2
7;9	1	2	4	5	10	8	7	3	6	9	1	40,3
8;9	1	2	4	5	10	8	7	9	3	6	1	34,4

Mínimo Local confirmado

ANEXO Q

Rota Otimizada gerada pelo Algoritmo de Trocar posições a partir da rota inicial gerada pelo Algoritmo de Inserção Mais Econômica na matriz de Terça-Feira e Sexta-Feira

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	0	4,3	8,6	8,8	14,3	9	8,8	9,4	7,5	10,8	9,5
2	4,3	0	6,7	6,9	12,9	8,5	10	10,8	9,3	9,7	7,6
3	8,8	6,5	0	1,6	7,2	5,8	7,4	8,2	6,6	7,1	1,7
4	8,8	6,5	1,6	0	6,4	4,4	6	6,8	5,3	5,7	0,85
5	13,2	11,1	5,4	4,7	0	6,1	7,2	6,7	7,5	5,1	4,2
6	9	8,2	5,7	4,3	6,8	0	2,2	3	2,1	2,7	4,5
7	8,8	10	7,4	6	7,2	2,2	0	1,8	1,9	3	6,2
8	9,3	11,1	8,5	7,1	6,2	3,3	1,6	0	2,5	2	7,3
9	7	9	7	6,1	9,3	2,9	2,7	3,3	0	5,2	6,3
10	11,1	10	7,4	6	4,5	2,5	2,9	2	4,2	0	6,2
11	9,1	6,9	2,5	1,1	6,8	4,1	5,6	6,4	4,9	5,4	0

Posição	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	DIST
Rota	1	9	8	10	7	6	5	3	11	4	2	1	43,7

1;2	1	8	9	10	7	6	5	3	11	4	2	1	48
1;3	1	10	8	9	7	6	5	3	11	4	2	1	46
1;4	1	7	8	10	9	6	5	3	11	4	2	1	45,5
1;5	1	6	8	10	7	9	5	3	11	4	2	1	47,1
1;6	1	5	8	10	7	6	9	3	11	4	2	1	50,8
1;7	1	3	8	10	7	6	5	9	11	4	2	1	56,4
1;8	1	11	8	10	7	6	5	3	9	4	2	1	58,7
1;9	1	4	8	10	7	6	5	3	11	9	2	1	54,8
1;10	1	2	8	10	7	6	5	3	11	4	9	1	49,5
2;3	1	9	10	8	7	6	5	3	11	4	2	1	44,3
2;4	1	9	7	10	8	6	5	3	11	4	2	1	44,3
2;5	1	9	6	10	7	8	5	3	11	4	2	1	43
2;6	1	9	5	10	7	6	8	3	11	4	2	1	52,1
2;7	1	9	3	10	7	6	5	8	11	4	2	1	59,4
2;8	1	9	11	10	7	6	5	3	8	4	2	1	62,6
2;9	1	9	4	10	7	6	5	3	11	8	2	1	60,1
2;10	1	9	2	10	7	6	5	3	11	4	8	1	62,4
3;4	1	9	8	7	10	6	5	3	11	4	2	1	43,7
3;5	1	9	8	6	7	10	5	3	11	4	2	1	42,8
3;6	1	9	8	5	7	6	10	3	11	4	2	1	50,1
3;7	1	9	8	3	7	6	5	10	11	4	2	1	58,9
3;8	1	9	8	11	7	6	5	3	10	4	2	1	62
3;9	1	9	8	4	7	6	5	3	11	10	2	1	59,7
3;10	1	9	8	2	7	6	5	3	11	4	10	1	65,9
4;5	1	9	8	10	6	7	5	3	11	4	2	1	43,7
4;6	1	9	8	10	5	6	7	3	11	4	2	1	46,6
4;7	1	9	8	10	3	6	5	7	11	4	2	1	58,1
4;8	1	9	8	10	11	6	5	3	7	4	2	1	59,5
4;9	1	9	8	10	4	6	5	3	11	7	2	1	57
4;10	1	9	8	10	2	6	5	3	11	4	7	1	61,1
5;6	1	9	8	10	7	5	6	3	11	4	2	1	48,3
5;7	1	9	8	10	7	3	5	6	11	4	2	1	52,8
5;8	1	9	8	10	7	11	5	3	6	4	2	1	55
5;9	1	9	8	10	7	4	5	3	11	6	2	1	51,8
5;10	1	9	8	10	7	2	5	3	11	4	6	1	60,2
6;7	1	9	8	10	7	6	3	5	11	4	2	1	46,9
6;8	1	9	8	10	7	6	11	3	5	4	2	1	47,6
6;9	1	9	8	10	7	6	4	3	11	5	2	1	47,7
6;10	1	9	8	10	7	6	2	3	11	4	5	1	55,2
7;8	1	9	8	10	7	6	5	11	3	4	2	1	43,8
7;9	1	9	8	10	7	6	5	4	11	3	2	1	43,55
7;10	1	9	8	10	7	6	5	2	11	4	3	1	54,9
8;9	1	9	8	10	7	6	5	3	4	11	2	1	43,75
8;10	1	9	8	10	7	6	5	3	2	4	11	1	53,45
9;10	1	9	8	10	7	6	5	3	11	2	4	1	54,4

Roteiro 1

1	9	8	6	7	10	5	3	11	4	2	1
---	---	---	---	---	----	---	---	----	---	---	---

DIST
42,8

Repete-se o processo para verificar se o Roteiro 1 é o mínimo local

Roteiro 2

1	9	8	7	6	10	5	3	11	4	2	1
---	---	---	---	---	----	---	---	----	---	---	---

DIST
40,8

Repete-se o processo para verificar se o Roteiro 2 é o mínimo local

Roteiro 3

1	9	6	7	8	10	5	3	11	4	2	1
---	---	---	---	---	----	---	---	----	---	---	---

DIST
39,9

Repete-se o processo para verificar se o Roteiro 3 é o mínimo local

Roteiro 4

1	9	6	7	8	10	5	4	11	3	2	1
---	---	---	---	---	----	---	---	----	---	---	---

DIST
39,75

Repete-se o processo para verificar se o Roteiro 4 é o mínimo local

Roteiro 5

1	9	6	7	8	10	5	11	4	3	2	1
---	---	---	---	---	----	---	----	---	---	---	---

DIST
38,6

Repete-se o processo para verificar se o Roteiro 5 é o mínimo local

Mínimo Local confirmado

ANEXO R

Rota Otimizada gerada pelo Algoritmo de Trocar posições a partir da rota inicial gerada pelo Algoritmo de Inserção Mais Econômica na matriz de Quarta-Feira e Sábado

	1	2	3	4
1	0	5,1	13,1	16,4
2	4,5	0	16,2	19,5
3	12,6	16,5	0	3,5
4	16	19,9	3,5	0

Posição	0	1	2	3	4	DIST
Rota	1	2	4	3	1	40,7

1;2	1	4	2	3	1	65,1
1;3	1	3	4	2	1	41
2;3	1	2	3	4	1	40,8

Mínimo Local confirmado

ANEXO S

Rota gerada pelo Solver para a matriz de Segunda-Feira e Quinta-Feira

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	999	1,6	4,4	6,1	8,4	8,4	12	11,6	11	10,4
2	1,6	999	2,9	4,6	6,8	6,9	10,5	10,1	9,5	8,8
3	4,4	3	999	2	4,2	4,2	7,9	7,4	6,8	6,2
4	7,5	6,1	3,2	999	2,3	3,4	5,9	5,5	4,9	4,3
5	8,3	6,9	4	2,9	999	0,8	4,6	4,2	3,6	3
6	8,4	7	4,1	3	0,7	999	4,4	4	3,4	2,7
7	11,8	10,5	7,6	6	3,9	3,6	999	0,9	1	2,1
8	11,6	10,2	7,3	5,7	3,6	3,4	1,3	999	1,1	1,8
9	10,9	9,5	6,6	5	2,9	2,7	1,3	1,1	999	1,1
10	11,1	9,7	6,8	5,3	3,2	2,7	1,8	1,4	1,1	999

Passo 1: Criar matriz das variáveis

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										

A matriz das variáveis se trata de uma matriz igual à original porém sem nenhum valor. Ela será utilizada pelo algoritmo para calcular o caminho de menor distância.

Passo 2: Colocar restrições

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
1											0	=	1
2											0	=	1
3											0	=	1
4											0	=	1
5											0	=	1
6											0	=	1
7											0	=	1
8											0	=	1
9											0	=	1
10											0	=	1
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=			
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			

As restrições de fluxo dos nós referentes ao somatório dos fluxos de entrada e saída, os quais deverão ser iguais a 1. Uma maneira de fazer essa restrição é usando a função do Excel "SOMA" para somar cada linha e cada coluna e verificar se o total é igual a 1.

	1	
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
	=SOMA(C39:C48)	

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1											=SOMA(C39:L39)
2											=SOMA(m39:m39)

Passo 3: Escolher célula para inserir o valor da função objetivo

F.O. 0

Para chegarmos ao resultado correto da função objetivo devemos envolver as duas matrizes, as dos custos das variáveis e a das variáveis, usando a função do Excel "SOMARPRODUTO". Para utilizar essa função, primeiro seleciona-se toda as células da matriz dos custos das variáveis e depois seleciona-se todas as celulas da matriz das variáveis.

F.O. =SOMARPRODUTO(C8:L17;C39:L48)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	999	1,6	4,4	6,1	8,4	8,4	12	11,6	11	10,4
2	1,6	999	2,9	4,6	6,8	6,9	10,5	10,1	9,5	8,8
3	4,4	3	999	2	4,2	4,2	7,9	7,4	6,8	6,2
4	7,5	6,1	3,2	999	2,3	3,4	5,9	5,5	4,9	4,3
5	8,3	6,9	4	2,9	999	0,8	4,6	4,2	3,6	3
6	8,4	7	4,1	3	0,7	999	4,4	4	3,4	2,7
7	11,8	10,5	7,6	6	3,9	3,6	999	0,9	1	2,1
8	11,6	10,2	7,3	5,7	3,6	3,4	1,3	999	1,1	1,8
9	10,9	9,5	6,6	5	2,9	2,7	1,3	1,1	999	1,1
10	11,1	9,7	6,8	5,3	3,2	2,7	1,8	1,4	1,1	999

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
1											0	=	1
2											0	=	1
3											0	=	1
4											0	=	1
5											0	=	1
6											0	=	1
7											0	=	1
8											0	=	1
9											0	=	1
10											0	=	1
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=			
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			

Passo 4: Inicia-se o Solver

Para iniciar o solver segue-se os seguintes passos

O solver encontra-se na barra DADOS do excel, na última coluna em análise

Arquivo Página Inicial Inserir Layout da Página Fórmulas Dados Revisão Exibir Ajuda



Passo 5: Configura-se o Solver

Parâmetros do Solver

Definir Objetivo: ↑

Para: ☒ Máx. ☐ Mín. ☐ Valor de:

Alterando Células Variáveis: ↑

Sujeito às Restrições:

☒ Tornar Variáveis Irrestritas Não Negativas

Selecionar um Método de Solução: ▼

Método de Solução

Selecione o mecanismo GRG Não Linear para Problemas do Solver suaves e não lineares. Selecione o mecanismo LP Simplex para Problemas do Solver lineares. Selecione o mecanismo Evolutionary para problemas do Solver não suaves.

Ajuda
Resolver
Fechar

1) Em Definir Objetivo: clica-se na célula da função objetivo

F.O.

2) A seguir, selecciona-se "Mín"

Para: ☐ Máx. ☒ Mín. ☐ Valor de:

3) No campo Alterando Células Variáveis, seleciona-se a matriz das variáveis

[illegible]

De cada um dos pontos, sai apenas um único ponto

Diagram illustrating a linear transformation. On the left, a column vector of 10 zeros is shown. In the center is an equals sign. On the right, a column vector of 10 ones is shown. To the right of this vector is a matrix consisting of 10 columns, each containing 10 ones, representing the transformation matrix.

Adicionar Restrição

Referência de Célula: = Restrição:

The diagram illustrates the decomposition of a zero matrix into a sum of rank-1 matrices. The top row shows a 1x10 matrix of zeros. Below it is an equals sign. The bottom row shows 10 1x1 matrices, each containing a 1, representing the columns of the identity matrix.

Adicionar Restrição

Referência de Célula:

Restrição:

[illegible]

5) No campo Selecionar o metodo de solução, seleciona-se o método LP Simplex

Selecionar um Método de Solu o: LP Simplex

6) Clica-se no botão opções

Opções

7) Altera o Nível de Número Inteiro ideal (%) para um numero muito pequeno

Nível de Número Inteiro Ideal (%): 0,00001

8) Clica-se no botão Resolver

Resolver

9) Clica-se no botão OK

Resultados do Solver

O Solver encontrou uma solução de número inteiro dentro da tolerância. Todas as Restrições foram

☒ Manter Solução do Solver

☐ Restaurar Valores Originais

☐ Retornar   Caixa de Diálogo Parâmetros do Solver

☐ Rela  rios de Estrutura de T picos

Rela  rios Resposta

OK Cancelar Salvar Cenário...

O Solver encontrou uma solução de número inteiro dentro da tolerância. Todas as Restrições foram satisfeitas.

  possível que existam melhores solu   es de número inteiro. Para ter certeza que o Solver encontre a melhor solu   o, defina a tolerância de números inteiros como 0% na caixa de diálogo de opções.

Passo 5: Após executar o Solver, ele irá mostrar uma rota calculada

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	=	1
2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	=	1
3	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	=	1
4	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	=	1
5	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	=	1
6	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	=	1
7	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	=	1
8	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	=	1
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	=	1
10	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	=	1
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=			
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			

Ao realizar a otimização, como não foi colocado nenhuma restri   o para evitar subciclos, o primeiro resultado consistirá em um conjunto de subrotas. O método escolhido para solucionar as subrotas consiste em resolver a menor das subrotas. Caso mais de uma seja a menor, o critério de prioridade   resolver a de menor grau, uma por vez. Sendo assim, é colocado a restri   o para a subrota e otimiza-se novamente o solver.

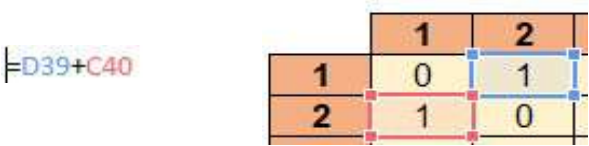
Nessa primeira rota, foram encontradas as seguintes sub-rotas:

- subrotas
- 1-2-1
 - 3-4-3
 - 5-6-5
 - 7-8-7
 - 9-10-9

Para resolver a sub-rotas desejada, soma-se os valores que aparecem na matriz das variáveis. Esses pontos são os valores de cada trecho da sub rota. Então o primeiro ponto é o (1,2) e o segundo (2,1). A seguir, iguala esse valor ao total de pontos menos 1. Nesse caso, a soma desses dois pontos deve ser menor ou igual a 1.

Restrição para a sub-rotas 1-2-1:

$0 \leq 1$



A seguir, adiciona-se essa restrição ao Solver:

The screenshot shows the 'Adicionar Restrição' (Add Constraint) dialog box in Excel Solver. The 'Referência de Célula:' (Cell Reference) field contains '\$B\$331'. The 'Restrição:' (Constraint) field contains '= \$D\$331'. The comparison operator is set to '<=' (less than or equal to). The 'OK' button is highlighted.

Como apareceu novamente as subrotas, repete-se as etapas acima e resolve-se sempre uma unica sub-rotas pra cada otimização.

Para resolver a matriz de Segunda-Feira e Quinta-Feira, foram necessarios resolver 21 subrotas. Tais sub-rotas foram representadas a seguir:

subrotas	Restrição
1-2-1	≤ 1
7-8-7	≤ 1
1-2-3-1	≤ 2
1-3-2-1	≤ 2
5-6-5	≤ 1
7-9-10-8-7	≤ 3
7-8-9-10-7	≤ 3
7-8-10-9-7	≤ 3
7-9-7	≤ 1
7-10-9-8-7	≤ 3
7-9-8-10-7	≤ 3
5-10-6-5	≤ 2
7-10-8-9-7	≤ 3
5-6-10-5	≤ 2
1-2-4-3-1	≤ 3
7-10-7	≤ 1
1-4-3-2-1	≤ 3
1-2-3-4-1	≤ 3
1-3-4-2-1	≤ 3
7-8-9-7	≤ 2
7-9-8-7	≤ 2

Após adicionar cada uma delas ao solver, obtém-se a seguinte Rota:

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	=	1
2	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	=	1
3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	=	1
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	=	1
5	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	=	1
6	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	=	1
7	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	=	1
8	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	=	1
9	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	=	1
10	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	=	1
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=			
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			

1-2-4-10-8-7-9-6-5-3-1

F.O. 26

O valor da função objetivo encontrado nessa rota, ou seja, a distância total percorrida foi de 26 km

ANEXO T

Rota gerada pelo Solver para a matriz de Terça-Feira e Sexta-Feira

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	999	4,3	8,6	8,8	14,3	9	8,8	9,4	7,5	10,8	9,5
2	4,3	999	6,7	6,9	12,9	8,5	10	10,8	9,3	9,7	7,6
3	8,8	6,5	999	1,6	7,2	5,8	7,4	8,2	6,6	7,1	1,7
4	8,8	6,5	1,6	999	6,4	4,4	6	6,8	5,3	5,7	0,85
5	13,2	11,1	5,4	4,7	999	6,1	7,2	6,7	7,5	5,1	4,2
6	9	8,2	5,7	4,3	6,8	999	2,2	3	2,1	2,7	4,5
7	8,8	10	7,4	6	7,2	2,2	999	1,8	1,9	3	6,2
8	9,3	11,1	8,5	7,1	6,2	3,3	1,6	999	2,5	2	7,3
9	7	9	7	6,1	9,3	2,9	2,7	3,3	999	5,2	6,3
10	11,1	10	7,4	6	4,5	2,5	2,9	2	4,2	999	6,2
11	9,1	6,9	2,5	1,1	6,8	4,1	5,6	6,4	4,9	5,4	999

Passo 1: Criar matriz das variáveis

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1											
2											
3											
4											
5											
6											
7											
8											
9											
10											
11											

A matriz das variáveis se trata de uma matriz igual à original porém sem nenhum valor. Ela será utilizada pelo algoritmo para calcular o caminho de menor distância.

Passo 2: Colocar restrições

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11			
1												0	=	1
2												0	=	1
3												0	=	1
4												0	=	1
5												0	=	1
6												0	=	1
7												0	=	1
8												0	=	1
9												0	=	1
10												0	=	1
11												0	=	1
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=			
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			

As restrições de fluxo dos nós referentes ao somatório dos fluxos de entrada e saída, os quais deverão ser iguais a 1. Uma maneira de fazer essa restrição é usando a função do Excel "SOMA" para somar cada linha e cada coluna e verificar se o total é igual a 1.

	1	
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		
	=SOMA(C41:C51)	

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
1												=SOMA(C41:M41)

Passo 3: Escolher célula para inserir o valor da função objetivo

F.O. 0

Para chegarmos ao resultado correto da função objetivo devemos envolver as duas matrizes, as dos custos das variáveis e a das variáveis, usando a função do Excel "SOMARPRODUTO". Para utilizar essa função, primeiro seleciona-se toda as células da matriz dos custos das variáveis e depois seleciona-se todas as celulas da matriz das variáveis.

F.O. =SOMARPRODUTO(C8:M18;C41:M51)|

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	999	4,3	8,6	8,8	14,3	9	8,8	9,4	7,5	10,8	9,5
2	4,3	999	6,7	6,9	12,9	8,5	10	10,8	9,3	9,7	7,6
3	8,8	6,5	999	1,6	7,2	5,8	7,4	8,2	6,6	7,1	1,7
4	8,8	6,5	1,6	999	6,4	4,4	6	6,8	5,3	5,7	0,85
5	13,2	11,1	5,4	4,7	999	6,1	7,2	6,7	7,5	5,1	4,2
6	9	8,2	5,7	4,3	6,8	999	2,2	3	2,1	2,7	4,5
7	8,8	10	7,4	6	7,2	2,2	999	1,8	1,9	3	6,2
8	9,3	11,1	8,5	7,1	6,2	3,3	1,6	999	2,5	2	7,3
9	7	9	7	6,1	9,3	2,9	2,7	3,3	999	5,2	6,3
10	11,1	10	7,4	6	4,5	2,5	2,9	2	4,2	999	6,2
11	9,1	6,9	2,5	1,1	6,8	4,1	5,6	6,4	4,9	5,4	999

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11			
1												0	=	1
2												0	=	1
3												0	=	1
4												0	=	1
5												0	=	1
6												0	=	1
7												0	=	1
8												0	=	1
9												0	=	1
10												0	=	1
11												0	=	1
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=			
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			

Para iniciar o solver segue-se os seguintes passos

O solver encontra-se na barra DADOS do excel, na última coluna em análise

Arquivo	Página Inicial	Inserir	Layout da Página	Fórmulas	Dados	Revisão	Exibir	Ajuda
---------	----------------	---------	------------------	----------	-------	---------	--------	-------

Solver

Análise

Passo 5: Configura-se o Solver

Parâmetros do Solver

Definir Objetivo: ↑

Para: ☒ Máx. ☐ Mín. ☐ Valor de:

Alterando Células Variáveis: ↑

Sujeito às Restrições:

	Adicionar
	Alterar
	Excluir
	Redefinir Tudo
	Carregar/Salvar

☒ Tornar Variáveis Irrestritas Não Negativas

Selecionar um Método de Solução: GRG Não Linear ▼

Método de Solução

Selecione o mecanismo GRG Não Linear para Problemas do Solver suaves e não lineares. Selecione o mecanismo LP Simplex para Problemas do Solver lineares. Selecione o mecanismo Evolutionary para problemas do Solver não suaves.

Ajuda Resolver Fechar

1) Em Definir Objetivo: clica-se na célula da função objetivo

F.O.

2) A seguir, selecciona-se "Mín"

Para: ☐ Máx. ☒ Mín. ☐ Valor de:

3) No campo Alterando Células Variáveis, seleciona-se a matriz das variáveis

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11			
1												0	=	1
2												0	=	1
3												0	=	1
4												0	=	1
5												0	=	1
6												0	=	1
7												0	=	1
8												0	=	1
9												0	=	1
10												0	=	1
11												0	=	1
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=			
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			

De cada um dos pontos, sai apenas um único ponto

Adicionar Restrição

Referência de Célula: 

Restrição: 

[illegible]

Adicionar Restrição

Referência de Célula: = Restrição:

The diagram illustrates the decomposition of a zero vector into a sum of basis vectors. At the top, a horizontal bar represents a 12x1 vector with all elements equal to 0. Below this bar is an equals sign. Underneath the equals sign are 12 small equals signs, each aligned with a column of a 12x12 matrix. The matrix is shown as a single row of 12 cells, each containing the value 1. The first cell is highlighted with a white background, while the others have a gray background.

Adicionar Restrição

Referência de Célula:

Restrição:

[illegible]

5) No campo Selecionar o metodo de solução, seleciona-se o método LP Simplex

Selecionar um Método de Solução:

LP Simplex

6) Clica-se no botão opções

Opções

7) Altera o Nível de Número Inteiro ideal (%) para um numero muito pequeno

Nível de Número Inteiro Ideal (%):

0,00001

8) Clica-se no botão Resolver

Resolver

9) Clica-se no botão OK

Resultados do Solver

O Solver encontrou uma solução de número inteiro dentro da tolerância. Todas as Restrições foram

☒ Manter Solução do Solver

☐ Restaurar Valores Originais

☐ Retornar à Caixa de Diálogo Parâmetros do Solver

Relatórios

Resposta

OK

Cancelar

Salvar Cenário...

O Solver encontrou uma solução de número inteiro dentro da tolerância. Todas as Restrições foram satisfeitas.

 possível que existam melhores soluções de número inteiro. Para ter certeza que o Solver encontre a melhor solução, defina a tolerância de números inteiros como 0% na caixa de diálogo de opções.

Passo 5: Após executar o Solver, ele irá mostrar uma rota calculada

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11			
1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	=	1
2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	=	1
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	=	1
4	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	=	1
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	=	1
6	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	=	1
7	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	=	1
8	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	=	1
9	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	=	1
10	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	=	1
11	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	=	1
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=			
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			

Ao realizar a otimização, como não foi colocado nenhuma restrição para evitar subciclos, o primeiro resultado consistirá em um conjunto de subrotas. O método escolhido para solucionar as subrotas consiste em resolver a menor das subrotas. Caso mais de uma seja a menor, o critério de prioridade  resolver a de menor grau, uma por vez. Sendo assim, é colocado a restrição para a subrota e otimiza-se novamente o solver.

Nessa primeira rota, foram encontradas as seguintes sub-rotas:

subrotas

1-2-1
3-11-4-3
5-10-5
6-9-6
7-8-7

Para resolver a sub-rotas desejada, soma-se os valores que aparecem na matriz das variáveis. Esses pontos são os valores de cada trecho da sub rota. Então o primeiro ponto é o (1,2) e o segundo (2,1). A seguir, iguala esse valor ao total de pontos menos 1. Nesse caso, a soma desses dois pontos deve ser menor ou igual a 1.

Restrição para a sub-rotas 1-2-1:

$$0 \leq 1$$

=D41+C42

		1	2
1	0	1	
2	1	0	

A seguir, adiciona-se essa restrição ao Solver:

Adicionar Restrição

Referência de Célula:

\$B\$334

Restrição:

<=

=D\$334

OK

Adicionar

Cancelar

Para resolver a matriz de Terça-Feira e Sexta-Feira, foi necessário resolver apenas a subrota acima. Após adicioná-la ao solver, obtém-se a seguinte rota:

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11			
1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	=	1
2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	=	1
3	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	=	1
4	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	=	1
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	=	1
6	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	=	1
7	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	=	1
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	=	1
9	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	=	1
10	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	=	1
11	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	=	1
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=			
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			

1-9-6-7-8-10-5-11-4-3-2-1

F.O. 38,6

O valor da função objetivo encontrado nessa rota, ou seja, a distância total percorrida foi de 38,6 km

Rota gerada pelo Solver para a matriz de Qaurta-Feira e Sábado

Passo 1: Criar matriz das variáveis

A matriz das variáveis se trata de uma matriz igual à original porém sem nenhum valor. Ela será utilizada pelo algoritmo para calcular o caminho de menor distância.

As restrições de fluxo dos nós referentes ao somatório dos fluxos de entrada e saída, os quais deverão ser iguais a 1. Uma maneira de fazer essa restrição é usando a função do Excel "SOMA" para somar cada linha e cada coluna e verificar se o total é igual a 1.

Passo 3: Escolher célula para inserir o valor da função objetivo

Para chegarmos ao resultado correto da função objetivo devemos envolver as duas matrizes, as dos custos das variáveis e a das variáveis, usando a função do Excel "SOMARPRODUTO". Para utilizar essa função, primeiro seleciona-se toda as células da matriz dos custos das variáveis e depois seleciona-se todas as células da matriz das variáveis.

	1	2	3	4
1	999	5,1	13,1	16,4
2	4,5	999	16,2	19,5
3	12,6	16,5	999	3,5
4	16	19,9	3,5	999

	1	2	3	4
1				
2				
3				
4				

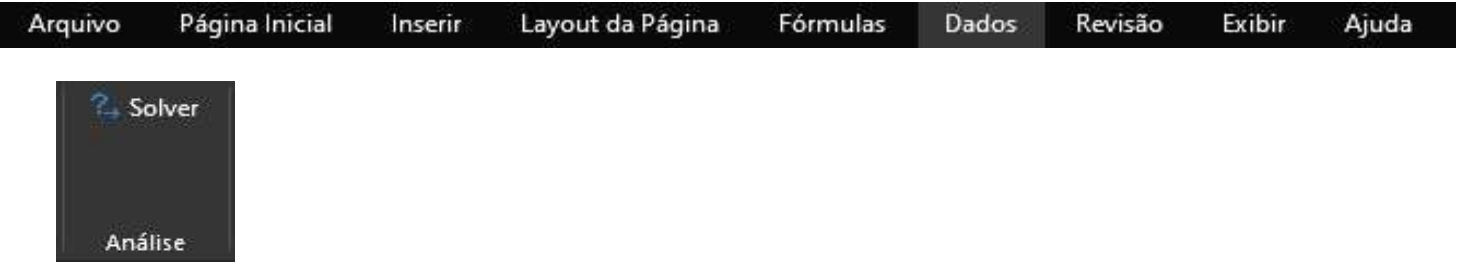
0	=	1
0	=	1
0	=	1
0	=	1

0	=	1
0	=	1
0	=	1
0	=	1

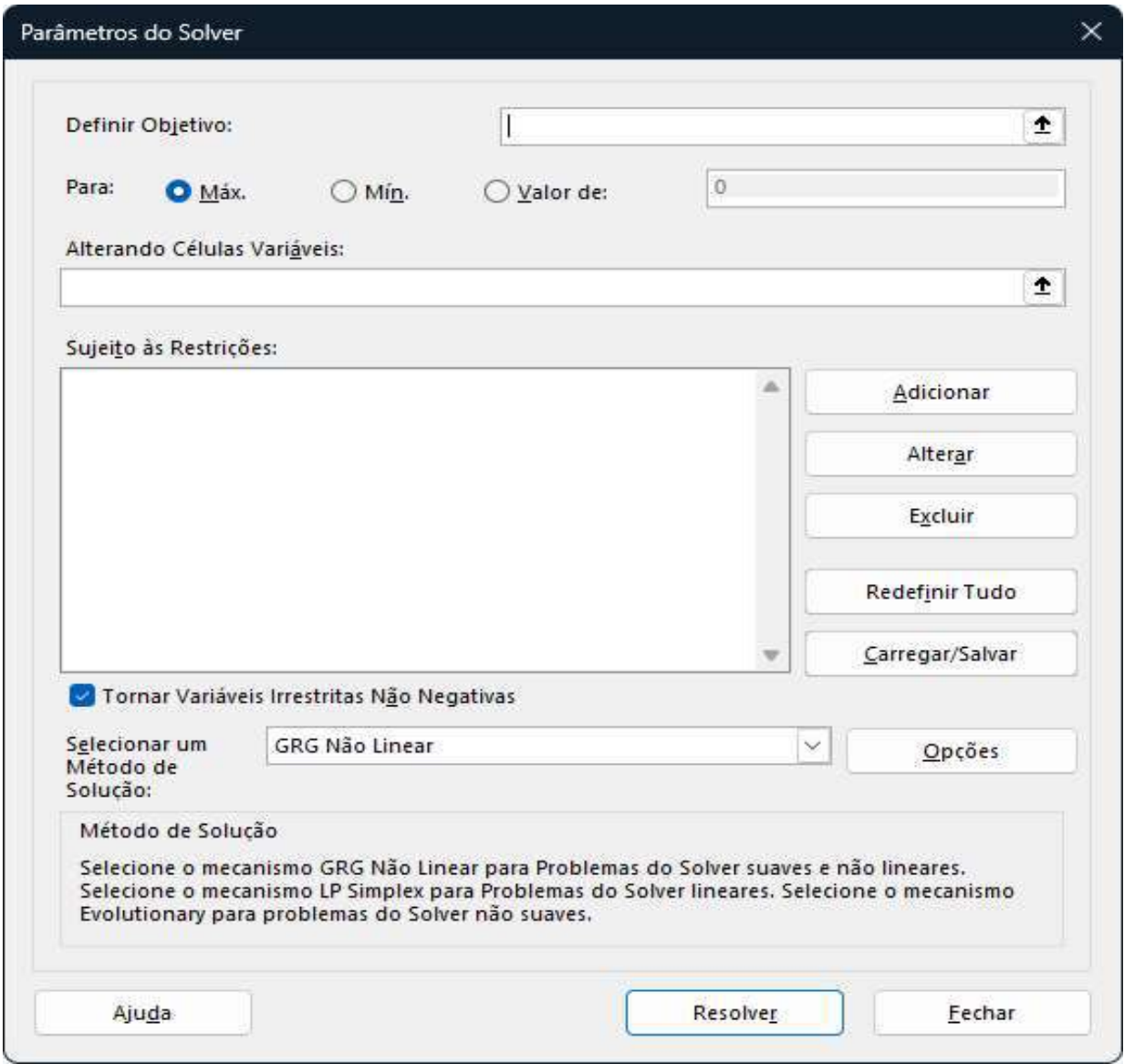
Passo 4: Inicia-se o Solver

Para iniciar o solver segue-se os seguintes passos

O solver encontra-se na barra DADOS do excel, na última coluna em análise



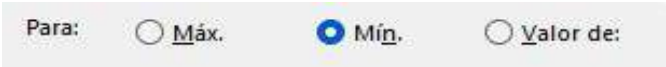
Passo 5: Configura-se o Solver



1) Em Definir Objetivo: clica-se na célula da função objetivo

F.O. 0

2) A seguir, seleciona-se "Mín"



3) No campo Alterando Células Variáveis, seleciona-se a matriz das variáveis

	1	2	3	4	
1					0 = 1
2					0 = 1
3					0 = 1
4					0 = 1
	0	0	0	0	
	=	=	=	=	
	1	1	1	1	

4) No campo sujeito a restrições, é necessário adicionar individualmente cada restrição. Inicialmente, as únicas restrições serão:

De cada um dos pontos, sai apenas um único ponto

Adicionar Restrição

Referência de Célula:

SG\$26:SG\$29

↑

=

Restrição:

=SI\$26:SI\$29

↑

OK

Adicionar

Cancelar

0	=	1
0	=	1
0	=	1
0	=	1

Para cada ponto, chega-se de exatamente um dos pontos

Adicionar Restrição

Referência de Célula:

SC\$30:SF\$30

↑

=

Restrição:

=SC\$32:SF\$32

↑

OK

Adicionar

Cancelar

0	0	0	0
=	=	=	=
1	1	1	1

As variáveis de decisão são todas binárias

Adicionar Restrição

Referência de Célula:

SC\$26:SF\$29

↑

bin

Restrição:

binário

↑

OK

Adicionar

Cancelar

	1	2	3	4
1				
2				
3				
4				

5) No campo Selecionar o metodo de solução, seleciona-se o método LP Simplex

Selecionar um Método de Solução:

LP Simplex

▼

6) Clica-se no botão opções

Opções

7) Altera o Nível de Número Inteiro ideal (%) para um numero muito pequeno

Nível de Número Inteiro Ideal (%):

0,00001

8) Clica-se no botão Resolver

Resolver

9) Clica-se no botão OK



Passo 5: Após executar o Solver, ele irá mostrar uma rota calculada

	1	2	3	4			
1	0	1	0	0	1	=	1
2	1	0	0	0	1	=	1
3	0	0	0	1	1	=	1
4	0	0	1	0	1	=	1
	1	1	1	1			
	=	=	=	=			
	1	1	1	1			

Ao realizar a otimização, como não foi colocado nenhuma restrição para evitar subciclos, o primeiro resultado consistirá em um conjunto de subrotas. O método escolhido para solucionar as subrotas consiste em resolver a menor das subrotas. Caso mais de uma seja a menor, o critério de prioridade é resolver a de menor grau, uma por vez. Sendo assim, é colocado a restrição para a subrota e otimiza-se novamente o solver.

Nessa primeira rota, foram encontradas as seguintes sub-rotas:

subrotas

1-2-1

3-4-3

Para resolver a sub-rota desejada, soma-se os valores que aparecem na matriz das variáveis. Esses pontos são os valores de cada trecho da sub rota. Então o primeiro ponto é o (1,2) e o segundo (2,1). A seguir, iguala esse valor ao total de pontos menos 1. Nesse caso, a soma desses dois pontos deve ser menor ou igual a 1.

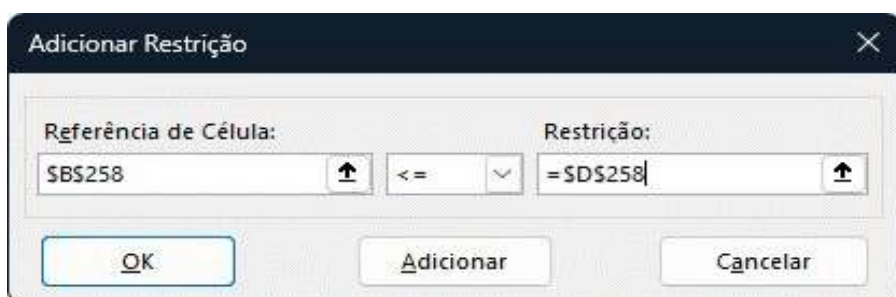
Restrição para a sub-rota 1-2-1:

$$0 \leq 1$$

=D26+C27

	1	2
1	0	1
2	1	0

A seguir, adiciona-se essa restrição ao Solver:



Para resolver a matriz de Quarta-Feira e Sábado, foi necessario resolver apenas a subrota acima. Após adicioná-la ao solver, obtém-se a seguinte rota:

	1	2	3	4			
1	0	1	0	0	1	=	1
2	0	0	0	1	1	=	1
3	1	0	0	0	1	=	1
4	0	0	1	0	1	=	1
	1	1	1	1			
	=	=	=	=			
	1	1	1	1			

1-2-4-3-1

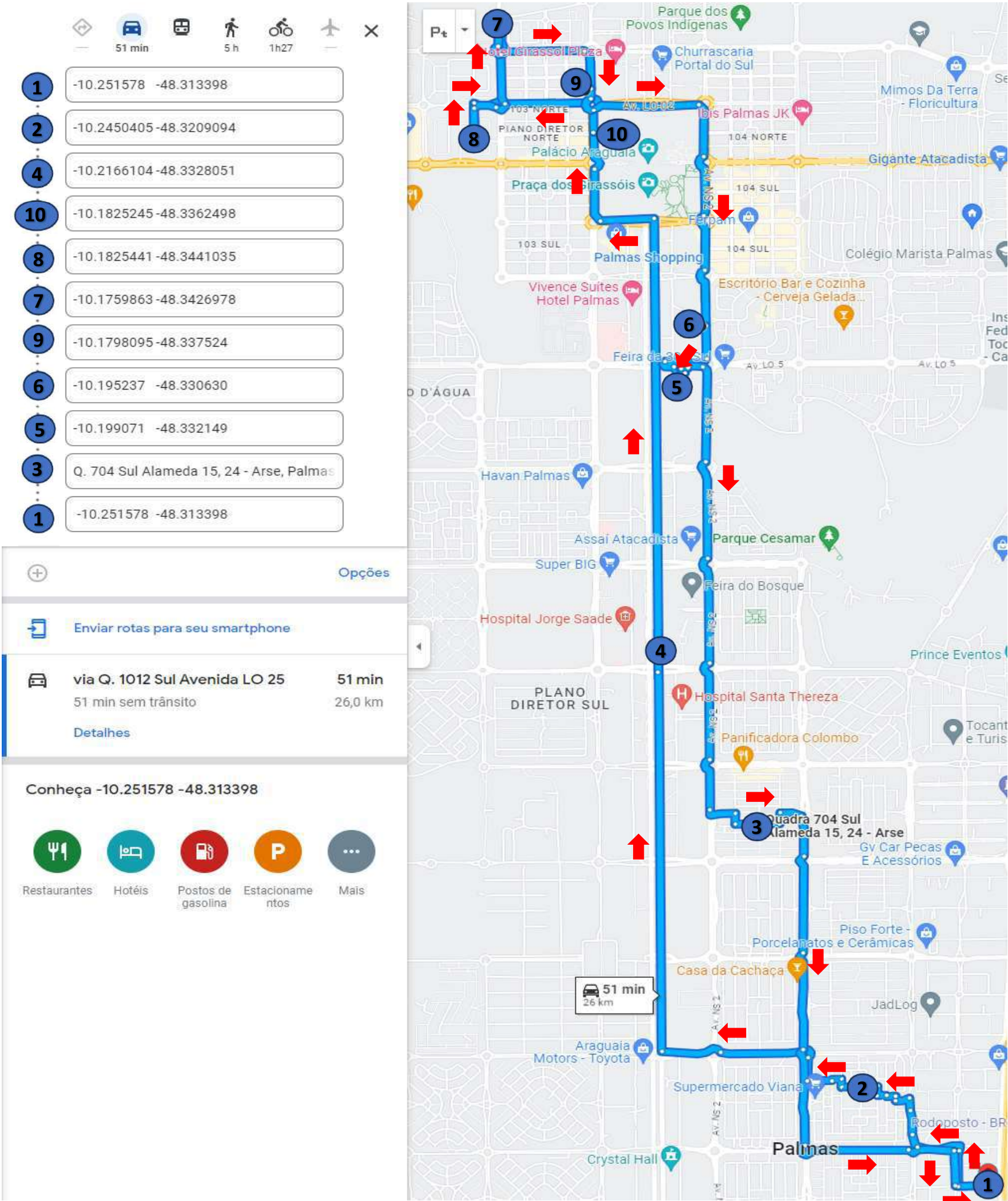
F.O. 40,7

O valor da função objetivo encontrado nessa rota, ou seja, a distância total percorrida foi de 40,7 km

ANEXO V

Rota Final para a Matriz Rota Segunda-Feira e Quinta-Feira no Google Maps

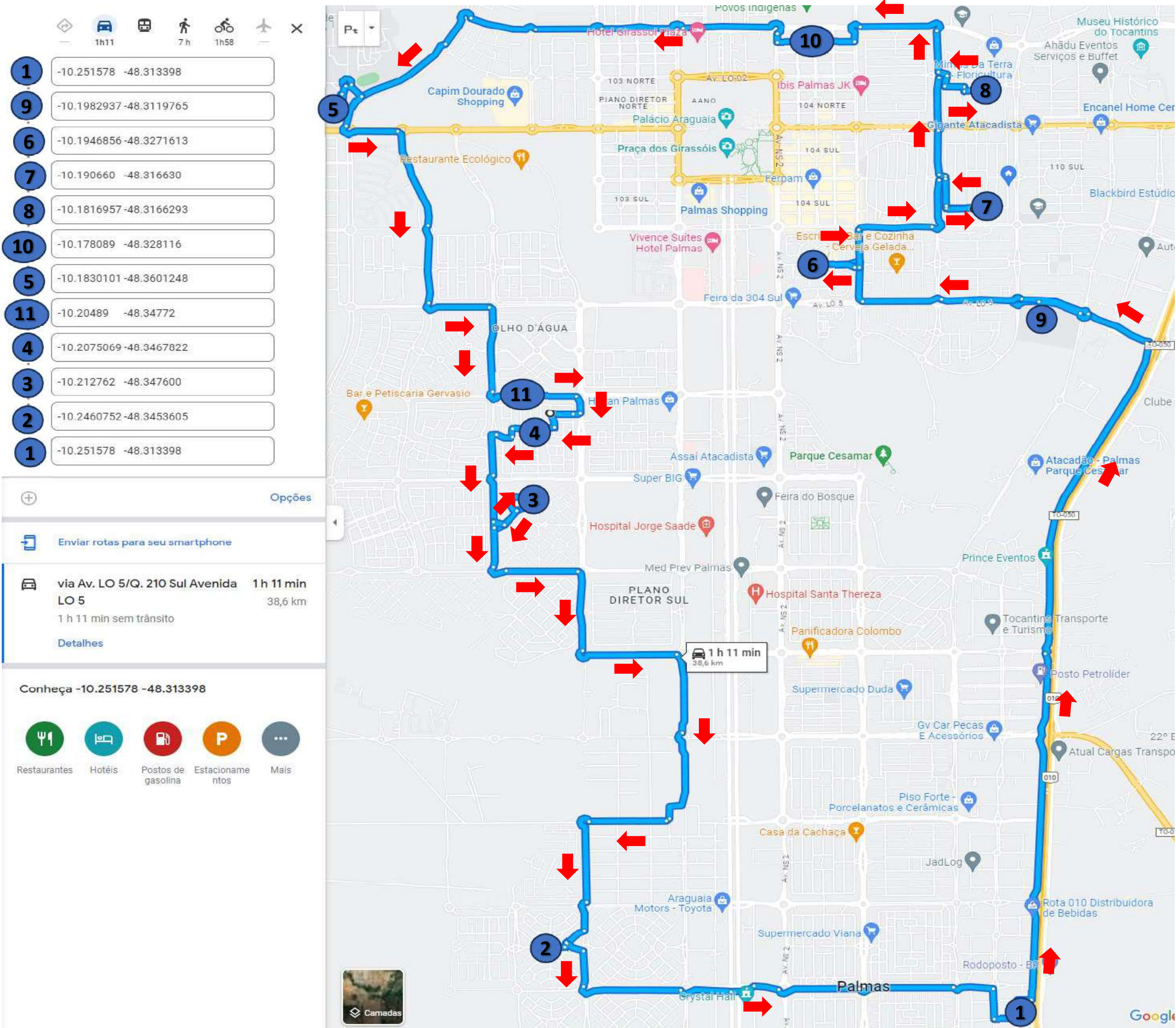
Código	LOCAL	Latitude	Longitude
1	MB-LIMPEZA URBANA	-10.251578	-48.313398
2	QUADRA ARSE102/ 1006 SUL - ESC. MUNICIPAL MONTEIRO LOBATO,	-10.2450405	-48.3209094
4	QUADRA AASE 50/502 SUL - AV TEOTÔNIO SEGURADO - DEFENSORIA PÚBLICA,	-10.2166104	-48.3328051
10	TO PARCERIAS (PRAÇA DOS GIRASSÓIS),	-10.1825245	-48.3362498
8	QUADRA ARNO 12/105 NORTE - Prédio Royal,	-10.1825441	-48.3441035
7	QUADRA ARNO 22/205 NORTE (Condomínio Privilege),	-10.1759863	-48.3426978
9	QUADRA ACNO 1/103 NORTE - ANEXO III DA CORREGEDORIA DA JUSTIÇA,	-10.1798095	-48.337524
6	JL MEURER	-10.195237	-48.330630
5	ESPAÇO CULTURAL DE PALMAS	-10.199071	-48.332149
3	QUADRA 704 SUL/ARSE 71 (PRAÇA DA QUADRA),	-10.227802	-48.3271535
1	MB-LIMPEZA URBANA	-10.251578	-48.313398



ANEXO W

Rota Final para a Matriz Rota Terça-Feira e Sexta-Feira no Google Maps

Código	LOCAL	Latitude	Longitude
1	MB-LIMPEZA URBANA	-10.251578	-48.313398
9	QUADRA AESE 34/310 SUL (IFTO),	-10.1982937	-48.3119765
6	QUADRA ARSE 21/204 SUL (praça da quadra),	-10.1946856	-48.3271613
7	QUADRA /108 SUL - SEDE ADMINISTRATIVA DA UNITINS,	-10.190660	-48.316630
8	QUADRA ARNE 13/108 NORTE (Praça da quadra),	-10.1816957	-48.3166293
10	QUADRA ACNE 11/104 NORTE - DÍNAMO ENGENHARIA (em frente à Energisa);	-10.178089	-48.328116
5	QUADRA /109 NORTE - UNITINS CAMPUS GRACIOSA,	-10.1830101	-48.3601248
11	FUNDAÇÃO MUNICIPAL DE MEIO AMBIENTE DE PALMAS	-10.20489	-48.34772
4	QUADRA ARSO 42/405 SUL (praça da quadra),	-10.2075069	-48.3467822
3	QUADRA ARSO 52/505 SUL (praça nº 6 da quadra);	-10.212762	-48.347600
2	QUADRA ARSO 102/1005 SUL. (Praça da quadra),	-10.2460752	-48.3453605
1	MB-LIMPEZA URBANA	-10.251578	-48.313398



Rota Final para a Matriz Rota Quarta-Feira e Sábado no Google Maps

55 min

7 h

2h23

1

-10.251578 -48.313398

2

-10.270732 -48.332235

4

-10.2438107 -48.2218667

3

-10.2470068 -48.244242

1

-10.251578 -48.313398

+

Adicionar destino

Opções

Enviar rotas para seu smartphone

vía Av. Nossa Quatro

55 min

55 min sem trânsito

40,7 km

Detalhes

