



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE – FURG  
INSTITUTO DE MATEMÁTICA, ESTATÍSTICA E FÍSICA - IMEF  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MODELAGEM COMPUTACIONAL

LILIANE SILVA DE ANTIQUEIRA

PROBLEMA DE LOCALIZAÇÃO DE FACILIDADES APLICADO AO  
ESTACIONAMENTO ROTATIVO – UM ESTUDO DE CASO

RIO GRANDE /RS - BRASIL

2013

LILIANE SILVA DE ANTIQUEIRA

PROBLEMA DE LOCALIZAÇÃO DE FACILIDADES APLICADO AO  
ESTACIONAMENTO ROTATIVO – UM ESTUDO DE CASO

Dissertação apresentada à Banca Examinadora do Programa de Pós-Graduação em Modelagem Computacional da Universidade Federal do Rio Grande, como exigência parcial para obtenção do título de Mestre em Modelagem Computacional, sob a orientação da professora Dr.<sup>a</sup> Elaine Corrêa Pereira e co-orientação da professora Dr.<sup>a</sup> Catia Maria dos Santos Machado.

RIO GRANDE /RS - BRASIL

2013

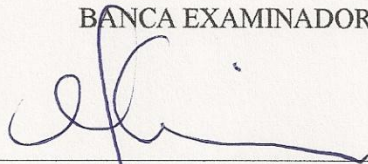
LILIANE SILVA ANTIQUEIRA

PROBLEMA DE LOCALIZAÇÃO DE FACILIDADES APLICADO AO ESTACIONAMENTO  
ROTATIVO – UM ESTUDO DE CASO.

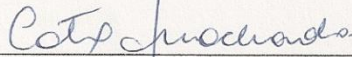
Dissertação apresentada ao Programa de Pós  
Graduação em Modelagem Computacional da  
Universidade Federal do Rio Grande -FURG,  
como requisito parcial para obtenção do Grau  
de Mestre. Área concentração: Modelagem  
Computacional..

Aprovada em

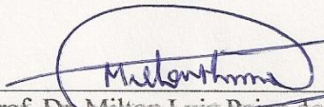
BANCA EXAMINADORA



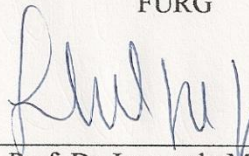
Prof.<sup>a</sup> Dra. Elaine Corrêa Pereira  
Orientadora - FURG



Prof.<sup>a</sup> Dra. Cátia Maria dos Santos Machado  
FURG



Prof. Dr. Milton Luiz Paiva de Lima  
FURG



Prof. Dr. Leonardo Melgarejo  
INCRA

Rio Grande -RS  
2013

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço aos professores da Banca Examinadora, pelas sugestões apresentadas.

À FURG e CAPES pelo apoio financeiro.

Aos docentes do PPGMC, pelos ensinamentos recebidos.

Aos funcionários da empresa Rek Parking e da SMSTT pelas informações prestadas.

Aos colegas e amigos do mestrado, em especial a Suvania pelos momentos de companheirismo e estudos compartilhados e ao Ezequiel pelas conversas e dicas.

À professora Elaine e a professora Catia, que sempre estiveram a disposição durante o período deste trabalho, pela competência e excelente orientação na realização do mesmo.

Ao meu amor Clark pela compreensão, paciência, carinho e incentivo para que concluísse esta pesquisa.

À minha irmã Lilian, que mesmo estando longe, sempre esteve torcendo por mim.

Agradeço aos meus pais, Maria Anatólia e Nilo Antônio pelo apoio, incentivo, ajuda nos momentos difíceis e por sempre acreditarem na importância do estudo.

À Deus.

“Tudo aquilo que o homem ignora, não existe para ele. Por isso, o universo de cada um, se resume ao tamanho do seu saber.”

Albert Einstein

“Aproveita o dia, não deixes que termine sem teres crescido um pouco. Sem teres sido feliz, sem teres alimentado teus sonhos.”

Walt Whitman

## RESUMO

O presente trabalho descreve uma proposta aplicada ao Serviço de Estacionamento Rotativo Regulamentado na cidade de Rio Grande. Tem-se como objetivo, uma nova forma de distribuição da região a ser atendida por esse serviço, visando uma melhoria no serviço de fiscalização. A metodologia utilizada foi composta de etapas, incluindo uma pesquisa de campo, o cadastramento dos pontos, a determinação das medianas através da comparação dos algoritmos Teitz & Bart e Busca Tabu. Na divisão da região em setores e áreas utilizou-se o Problema de Designação. Com base na qualidade da solução, mostrou-se a eficiência dos métodos utilizados, pois as vagas ficaram uniformemente distribuídas nos setores e áreas. Desta forma apresentou-se duas propostas de estruturação do serviço de estacionamento rotativo.

**Palavras - Chave:** Problema de p-medianas, Sistema de Estacionamento Rotativo, Algoritmo Teitz Bart, Problema de Designação.

## **ABSTRACT**

This paper describes a proposal applied to the Rotating Parking Lot Service regulated in the city of Rio Grande. The objective is a new form of distribution in the region to be attended by this service, aiming for an improvement in the inspection service. The methodology used was composed of steps, including a field survey, registration points, the determination of the medians by comparing the algorithms Teitz & Bart and Tabu Search. In the division of the region into sectors and areas it was used the Problem of Designation. Based on the quality of the solution, it was showed the efficiency of the methods used, since the vacancies were uniformly distributed in the sectors and areas. Thus, two proposals were presented for structuring the rotating parking lots service.

**Keywords:** P-median problem, Rotating Parking Lot System, Algorithm Teitz Bart, Problem of Designation.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1	Subdivisões do PLF.....	22
Figura 2.2	Exemplo de um problema não-capacitado.....	23
Figura 2.3	Exemplo de um problema capacitado.....	24
Figura 2.4	Processo Busca Tabu.....	30
Figura 2.5	Representação do PT sob forma de uma Rede.....	31
Figura 3.1	Localização da área em estudo – Rio Grande.....	40
Figura 3.2	Representação dos trechos de quadra.....	42
Figura 3.3	Trechos adicionados e retirados do sistema de estacionamento.....	42
Figura 3.4	Mapa dos setores do estacionamento rotativo de Rio Grande.....	43
Figura 4.1	Metodologia para o ERR.....	45
Figura 4.2	Mapa com a inserção dos 126 pontos cadastrados.....	48
Figura 4.3	Mapa contendo os trechos e suas taxas de ocupação.....	49
Figura 4.4	Grafo do problema real.....	50
Figura 5.1	Tela inicial do programa desenvolvido.....	61
Figura 5.2	(a) Nome dos vértices.....	62
Figura 5.2	(b) Trechos de quadra.....	62
Figura 5.2	(c) Nome das ruas.....	62
Figura 5.2	Variações no mapa.....	62
Figura 5.3	Tela inicial na cor escura.....	63
Figura 5.4	Base de dados.....	64
Figura 5.5	Alternativas para o cálculo de medianas.....	64
Figura 5.6	Resumo de uma solução.....	66
Figura 5.7	(a) Setores.....	67
Figura 5.7	(b) Áreas.....	68
Figura 5.7	Imagens de uma solução.....	68
Figura 6.1	Conjunto de medianas do Método I.....	71
Figura 6.2	Conjunto de medianas do Método II.....	74
Figura 6.3	Designação dos pontos às medianas (cenário I).....	77
Figura 6.4	Designação dos pontos às medianas (cenário II).....	80
Figura 6.5	Definição das medianas.....	83
Figura 6.6	Designação dos setores às medianas (cenário I).....	84



Figura 6.7	Designação dos setores às medianas (cenário II).....	86
Figura 6.8	(a) Setores.....	88
Figura 6.8	(b) Áreas.....	89
Figura 6.8	Configuração Final do Estacionamento Rotativo (cenário I).....	89
Figura 6.9	(a) Setores.....	90
Figura 6.9	(b) Áreas.....	91
Figura 6.9	Configuração Final do Estacionamento Rotativo (cenário II).....	91
Figura B.1	Grafo-exemplo.....	115

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1	Aplicações do PD.....	34
Tabela 2.2	Problema de Designação.....	34
Tabela 3.1	Número de veículos em circulação.....	41
Tabela 4.1	Número de vagas dos trechos de quadra.....	46
Tabela 4.2	Trechos de quadra retirados e adicionados ao sistema.....	46
Tabela 4.3	Relação das coordenadas.....	47
Tabela 4.4	Matriz das distâncias.....	58
Tabela 6.1	Resultados obtidos pelo Método I.....	70
Tabela 6.2	Medianas de cada ciclo.....	71
Tabela 6.3	Resultados obtidos pelo Método II.....	73
Tabela 6.4	Medianas de cada ciclo.....	74
Tabela 6.5	Comparação das soluções.....	75
Tabela 6.6	Formação dos setores (cenário I).....	78
Tabela 6.7	Formação dos setores (cenário II).....	81
Tabela 6.8	Demanda de cada ponto.....	84
Tabela 6.9	Formação das áreas (cenário I).....	85
Tabela 6.10	Demanda de cada ponto.....	85
Tabela 6.11	Formação das áreas (cenário II).....	86
Tabela 7.1	Distribuição das vagas no modelo atual e no modelo proposto.....	94
Tabela A.1	Dados obtidos.....	111
Tabela B.1	Coordenadas UTM referente aos quatro pontos escolhidos.....	115
Tabela B.2	Representação da Matriz Peso – Distância.....	117
Tabela C.1	Matriz das distâncias.....	128
Tabela E.1	Demanda e taxa de ocupação (cenário I).....	132
Tabela E.2	Demanda e taxa de ocupação (cenário II).....	134

## LISTA DE ABREVIATURAS

DENATRAN – Departamento Nacional de Trânsito

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

PLF – Problema de Localização de Facilidades

PLI – Programação Linear Inteira

BT – Busca Tabu

PT – Problema de Transporte

PD – Problema de Designação

ERR – Estacionamento Rotativo Regulamentado

DETRAN – Departamento Estadual de Trânsito do Rio Grande do Sul

SMSTT- Secretaria Municipal da Segurança, dos Transportes e do Trânsito

C – Carros

M – Motos

DF – Deficientes Físicos

$V_i$  – Vagas do trecho i

$C_j$  - Capacidade da mediana j

# SUMÁRIO

## CAPÍTULO I

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>15</b>
1.1. Considerações Iniciais.....	15
1.2. O Trânsito em Rio Grande .....	15
1.3. Estacionamento Rotativo Regulamentado.....	16
1.4. Descrição do Problema.....	17
1.5. Objetivos da Pesquisa.....	18
1.6. Justificativa .....	18
1.7. Estrutura do Trabalho.....	19

## CAPÍTULO II

<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>21</b>
2.1. Introdução .....	21
2.2. Problema de Localização de Facilidades.....	21
2.2.1. Localização de P-medianas .....	22
2.2.2. Formulação Matemática para o Problema das P-medianas.....	24
2.2.3. Algoritmo de Teitz e Bart .....	26
2.2.3.1. Descrição do Algoritmo Teitz & Bart.....	27
2.2.4. Algoritmo Busca Tabu.....	28
2.3. Problema de Transporte .....	30
2.3.1. Método de Vogel .....	32
2.3.2. Método da Matriz do Custo Mínimo .....	33
2.3.2. Método da Canto Noroeste .....	33
2.4. Problema de Designação .....	33

2.4.1. Método Húngaro .....	35
2.5. Trabalhos Relacionados .....	36
2.6. Considerações .....	38

### CAPÍTULO III

<b>3. CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA .....</b>	<b>40</b>
3.1. Introdução .....	40
3.2. Estudo de Caso .....	40
3.3. Considerações Finais.....	44

### CAPÍTULO IV

<b>4. METODOLOGIA PROPOSTA.....</b>	<b>45</b>
4.1. Introdução .....	45
4.2. Primeira Etapa: Pesquisa de Campo e Análise da Situação Atual .....	45
4.3. Segunda Etapa: Cadastramento dos Pontos e Obtenção dos Dados.....	47
4.4. Terceira Etapa: Determinação das 20-medianas .....	49
4.4.1. Algoritmo de Teitz e Bart para 20-medianas.....	51
4.4.2. Algoritmo Busca Tabu para 20-medianas.....	53
4.5. Quarta Etapa: Formação dos Setores .....	55
4.5.1. Formulação Matemática para o PD.....	56
4.6. Quinta Etapa: Determinação das 2-medianas.....	58
4.7. Sexta Etapa: Formação das Áreas .....	58
4.8. Considerações .....	59

## CAPÍTULO V

<b>5. OPERACIONALIZAÇÃO DO SOFTWARE .....</b>	<b>60</b>
5.1. Considerações Iniciais.....	60
5.2. Descrição do Aplicativo .....	60
5.3. Interface Gráfica.....	61
5.3.1. Base de Dados.....	63
5.3.2. Cálculo de Medianas.....	64
5.3.3. Relatório.....	66
5.4. Telas de Imagens.....	67
5.5. Considerações Finais.....	68

## CAPÍTULO VI

<b>6. ANÁLISE DOS RESULTADOS.....</b>	<b>69</b>
6.1. Introdução .....	69
6.2. Experimentos Computacionais.....	69
6.2.1. Definição das 20-medianas .....	70
6.2.1.1. Resultados e Análise do Algoritmo Teitz & Bart (Método I).....	70
6.2.1.2. Resultados e Análise do Algoritmo Busca Tabu (Método II).....	72
6.2.1.3. Comparação entre os Métodos I e II.....	75
6.2.2. Formação dos Setores .....	75
6.2.2.1. Cenário I .....	76
6.2.2.2. Cenário II .....	79
6.2.3. Determinação das 2-medianas .....	82
6.2.4. Formação das Áreas.....	83
6.2.4.1. Cenário I .....	83
6.2.4.2. Cenário II .....	85
6.3. Considerações .....	89

## CAPÍTULO VII

<b>7. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS.....</b>	<b>93</b>
7.1. Considerações Finais.....	93
7.2. Trabalhos Futuros.....	95
<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>96</b>
<b>ANEXO 1 – DISTRIBUIÇÃO DAS VAGAS E RUAS PERTENCENTES A ZONA AZUL.....</b>	<b>107</b>
<b>APÊNDICE A – DADOS OBTIDOS.....</b>	<b>110</b>
<b>APÊNDICE B – EXEMPLOS GERAIS.....</b>	<b>114</b>
B.1. Grafo com quatro vértices.....	115
B.2. Distância obtida utilizando o fator de correção.....	116
B.3. Metaheurística Busca Tabu.....	116
B.3.1. Exemplo.....	116
B.3.2. Objetivo.....	116
B.3.3. Localização dos pontos no plano cartesiano e pares ordenados.....	117
B.3.4. Matriz das distâncias euclidianas.....	117
B.3.5. Resolução.....	118
B.3.6. Síntese do método.....	125
<b>APÊNDICE C – MATRIZ DAS DISTÂNCIAS.....</b>	<b>127</b>
<b>APÊNDICE D – PSEUDOCÓDIGO.....</b>	<b>129</b>
<b>APÊNDICE E – DEMANDA DOS CENÁRIOS.....</b>	<b>131</b>
E.1. Demanda referente ao cenário I.....	132
E.2. Demanda referente ao cenário II.....	134

## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1. Considerações Iniciais

O Trânsito tem sido um dos motivos de preocupação para a população das grandes cidades brasileiras. O crescimento acelerado do número de automóveis e a falta de infraestrutura estão gerando sérios problemas de congestionamento nos centros das cidades, assim a procura por vagas de estacionamento torna-se cada vez mais intensas, um exemplo disso, são os constantes engarrafamentos ocorridos nas cidades.

Este transtorno atinge a população que precisa recorrer aos centros das cidades em busca de serviços, compras e a trabalho. As dificuldades são inúmeras: falta de fiscalização adequada nos rotativos, vagas para deficientes ocupadas indevidamente, formação de fila dupla, comerciantes que estacionam em frente as lojas limitando a possibilidade de atender seus clientes. Há ainda carros estacionados em vagas reservadas para motos e vice versa.

Tal situação gera um descompasso entre o aumento do número de carros e a falta de espaço nas grandes cidades, ocasionando um desequilíbrio entre a demanda e a oferta de vagas de estacionamento. Com o intuito de solucionar este problema, diversas cidades implantaram o Estacionamento Rotativo Regulamentado (ERR) que tem como objetivo proporcionar alta rotatividade atendendo um número maior de veículos, limitar o tempo de permanência do automóvel na vaga e, conseqüentemente, evitar os congestionamentos.

### 1.2. O Trânsito em Rio Grande

A cidade de Rio Grande está localizada entre a Laguna dos Patos e o Oceano Atlântico e teve seu crescimento ao redor do Porto Velho, fazendo com que a área central seja predominantemente ocupada por Bancos, supermercados, comércio, hotéis e hospitais. Porém, a instalação de novos bairros deu-se no sentido oposto ao centro da cidade, ocasionando num grande deslocamento da população em busca desses serviços.



Além disso, o município está com grandes investimentos no setor naval, incluindo a construção de plataformas e cascos para navios, gerando cerca de 40 mil empregos diretos e indiretos em cinco anos. Em consequência disto, segundo Mazui (2011) cerca de 70% da mão de obra da empresa responsável pela construção das plataformas são de rio-grandinos enquanto que 30% são de pessoas que migraram para a cidade em busca de oportunidades. Com a construção de mais duas plataformas em Rio Grande e a instalação de um pólo Naval na cidade vizinha São José do Norte, a previsão é que em nove anos a população aumente para aproximadamente 450 mil habitantes (RAIO X DAS RODOVIÁRIAS, 2011).

Por esta razão, houve um acréscimo no número de automóveis e em três anos a frota de veículos aumentou 50%, apresentando em 2010 um veículo para cada três habitantes (IBGE, 2010).

Atualmente, os moradores se deparam com a implementação do Estacionamento Rotativo, pois em determinados horários há congestionamento de veículos nas principais vias, uma vez que, veículos que estão procurando vagas circulam devagar e contribuem para a formação de filas ao longo das ruas da cidade. Portanto, a situação atual não se mostra satisfatória, cabendo examiná-la.

### **1.3. Estacionamento Rotativo Regulamentado**

Com objetivo de amenizar os transtornos causados pela falta de vagas, vem sendo utilizado em diversos países o Estacionamento Rotativo Regulamentado (ERR), também chamado de Zona Azul. De acordo com Feder e Maciel (2007, p. 2):

“Trata-se de uma forma de trabalhar com um conflito interno à questão da microacessibilidade, que é o tempo de estacionamento. Criou-se assim, o conceito do estacionamento rotativo, que impede a pessoa de ocupar uma vaga além de um número estabelecido de horas. Isso garante o acesso da maioria das pessoas que desejam estacionar por um período breve, democratizando o espaço”.

Nesse contexto, Elias (2001) afirma que o sistema de ERR é uma medida de racionalização do uso da via, que coíbe os estacionamentos de longa duração e promove a constante troca dos veículos nas vagas. Dentre esses benefícios, cita-se o aumento da oferta dinâmica de vagas e da acessibilidade da área, o incentivo às atividades comerciais, a

adequação da oferta com a demanda, a revitalização de áreas degradadas, melhoria da disciplina dos estacionamentos e outras.

Para atingir os objetivos deste serviço é necessário utilizar o parquímetro, que é um dispositivo eletromecânico usado em várias cidades para controle de estacionamento rotativo em vias públicas. Existe o parquímetro mecânico, sendo esse a forma mais antiga de controle do tempo de estacionamento, tendo sido implantado em 1935 em Oklahoma (CERREÑO, 2002) e em 1958 em Londres (SMITH, 1994). Estes equipamentos evoluíram e os mais utilizados são os digitais.

Nesse serviço, o motorista determina o tempo que ficará estacionado, podendo permanecer no máximo até duas horas. Porém, existem cidades com demanda menor de estacionamento e o tempo máximo varia entre 3 horas e 6 horas. O parquímetro gera um ticket a ser fixado no interior do automóvel o qual será vistoriado pelos fiscais em sua rotina de trabalho.

O período e dias de funcionamento do sistema de estacionamento rotativo pago, não se trata de algo padronizado porque depende diretamente do tipo de ocupação, hábitos populacionais e aspectos culturais das cidades.

#### **1.4. Descrição do Problema**

A área de cobertura do ERR no município de Rio Grande abrange a maioria das ruas centrais da cidade. Estas ruas estão agrupadas em 11 setores, sendo que se desconhece o número de vagas por setor e a quantidade de setores atendidos por cada fiscal.

Diante disso, tem-se a necessidade dos setores serem distribuídos uniformemente entre os fiscais e por isso propõe-se a aplicação de técnicas da Pesquisa Operacional, cujos resultados possam auxiliar no serviço realizado pelos fiscais e supervisores da Zona Azul no município de Rio Grande/RS (TAHA, 2008).

Por esta razão, desenvolve-se uma metodologia dividida em etapas. A modelagem, formulação e solução será através do Modelo de Localização denominado P-mediana. Além disso, dois métodos de solução serão comparados para definir as medianas e, posteriormente, a partir do Problema de Designação, os pontos serão alocados às medianas mais próximas, formando-se os setores de atendimento dos fiscais e as áreas de atendimento dos supervisores.

## **1.5. Objetivos da Pesquisa**

Este trabalho tem como objetivo geral, propor uma nova forma de organização do sistema de estacionamento rotativo da cidade de Rio Grande visando uma melhoria no serviço de fiscalização.

Para alcançar tal objetivo considera-se os seguintes objetivos específicos no desenvolvimento do trabalho.

- a) Estudar exploratoriamente caracterizando e estruturando o problema em estudo;
- b) Fazer uma análise comparativa da qualidade da solução dos algoritmos Teitz & Bart e Busca Tabu na determinação das medianas;
- c) Implementar o Algoritmo de Designação para a determinação dos setores e áreas;
- d) Minimizar a distância percorrida pelos funcionários do estacionamento rotativo através dos métodos de solução utilizados;
- e) Propor uma nova forma de distribuição da região do estacionamento rotativo de forma a equilibrar o trabalho dos fiscais;
- f) Possibilitar a elaboração de mapas e relatórios do sistema de estacionamento rotativo de forma eficiente;
- g) Estabelecer um processo dinâmico que leve em conta os acréscimos ou reduções no mapa da região em estudo;
- h) Desenvolver um aplicativo que possa ser utilizado em outras regiões e municípios.

## **1.6. Justificativa**

A principal justificativa para o trabalho está associada a importância do tema no cenário atual, sobre o qual muito se tem debatido a nível regional, estadual, nacional e internacional, em consequência do surgimento de diversos problemas resultantes do crescimento de veículos em circulação nas cidades.

Por esta razão, o foco desta pesquisa é uma proposta de melhoria do serviço de estacionamento rotativo, visando aperfeiçoar o trabalho dos fiscais e supervisores do atual sistema. A eficiência da fiscalização é imprescindível para o bom funcionamento do serviço, assegurando o respeito do usuário ao sistema e para que estes, não não excedam o tempo limite de permanência do veículo na vaga. Por isso, sugere-se que os fiscais utilizem mapas

contendo os trajetos das ruas a serem percorridas. Nota-se que na situação atual do sistema rotativo de Rio Grande, tanto os fiscais quanto os supervisores, não possuem informações sobre a localização dos trechos que serão fiscalizados, percorrendo muitas vezes ruas repetidas e outras ficando sem fiscalização.

Em razão disso é necessário distribuir os trechos de quadra em setores, de forma que a soma das distâncias de todos os trechos pertencentes a um determinado setor seja mínima, reduzindo a distância percorrida pelo fiscal. De forma semelhante, propõe-se distribuir os setores em áreas.

No modelo atual, os fiscais são distribuídos de acordo com a localização dos parquímetros e não é considerada a quantidade de vagas que estes fiscalizam, acarretando em profissionais sobrecarregados e uma demora no serviço. De acordo com a proposta desta pesquisa, esta situação pode ser modificada de forma a minimizar a desigualdade no serviço realizado pelos funcionários.

Outro fator importante é a ampliação no número de vagas do estacionamento rotativo em Rio Grande, ou seja, novos trechos poderão ser adicionados ou removidos conforme a necessidade. Portanto, a informatização facilitará este processo, pois atualmente o mesmo é feito de forma empírica e manual.

Ressalta-se também que no ambiente acadêmico, o tema Localização de Facilidades contribui no avanço da ciência e favorece o desenvolvimento de recursos computacionais na forma de aplicativo (software) resolvendo problemas do mundo real como é o caso do estacionamento rotativo.

Portanto, através deste trabalho desenvolve-se um aplicativo que pode ser adaptado em outras cidades, sugerindo uma nova proposta de distribuição dos trechos de quadra em setores e a determinação das áreas compostas por estes setores, de forma a minimizar a distância percorrida pelos fiscais. O mesmo é aplicado ao serviço de ERR de Rio Grande e com esta mudança pretende-se melhorar o serviço dos fiscais e, conseqüentemente, apresentar aos tomadores de decisão uma nova forma de organização do serviço.

## **1.7. Estrutura do Trabalho**

A dissertação está organizada em sete capítulos, incluindo esta Introdução. No Capítulo II, faz-se a revisão bibliográfica relacionada ao Problema de Localização de

Facilidades, Problema de Transporte e Problema de Designação, citando seus principais métodos de resolução e, por fim descreve-se alguns trabalhos relacionados.

O Capítulo III apresenta o estudo de caso referente ao ERR na cidade de Rio Grande, ressaltando a maneira como os funcionários realizam a fiscalização e como estes são distribuídos nas ruas.

A metodologia desta pesquisa encontra-se no Capítulo IV, sendo composta de seis etapas as quais utilizam a comparação dos algoritmos Teitz & Bart e Busca Tabu para a definição das medianas e, ainda o Método Húngaro Modificado na resolução do Problema de Designação com o objetivo de formar setores e áreas.

O Capítulo V descreve o funcionamento e a interface do software desenvolvido. Analisa-se os resultados obtidos no Capítulo VI, através da implementação dos algoritmos. O Capítulo VII apresenta as conclusões e recomendações para futuros trabalhos.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. Introdução

Neste capítulo faz-se a fundamentação teórica sobre o Problema de Localização de Facilidades, estendendo-se ao Problema das P-medianas, Problemas de Transporte e Designação, assim como as formulações matemáticas para tais problemas. Além disso, são descritos algumas aplicações dos métodos de solução.

### 2.2. Problema de Localização de Facilidades

Segundo Taha (2008), o Problema de Localização de Facilidades (PLF) teve início com Weber (1909) e possui várias aplicações como a localização de centros de comunicação em redes telefônicas, de subestações em redes de energia elétrica, de localização de correspondências, conforme Christofides (1975). Uma abordagem completa desse assunto pode ser encontrada em Hale & Moberg (2003), Galvão (2004), Cornuéjols et al. (1990) e Daskin (1995).

Estes problemas são tratados pela Teoria dos Grafos encontrada em Netto (2006) e têm como objetivo, a localização de facilidades ao longo de um sistema definido por um grafo, sendo necessária a obtenção de caminhos mínimos entre os vértices da rede e a localização adequada de um serviço.

Em virtude disso, existe o problema dos centros, cujo objetivo é minimizar a distância até o ponto mais crítico a ser atendido e o problema das p-medianas o qual minimiza a soma das distâncias de cada um dos vértices à facilidade mais próxima. A Figura 2.1 proposta por Rodrigues (2007) mostra as subdivisões do PLF.

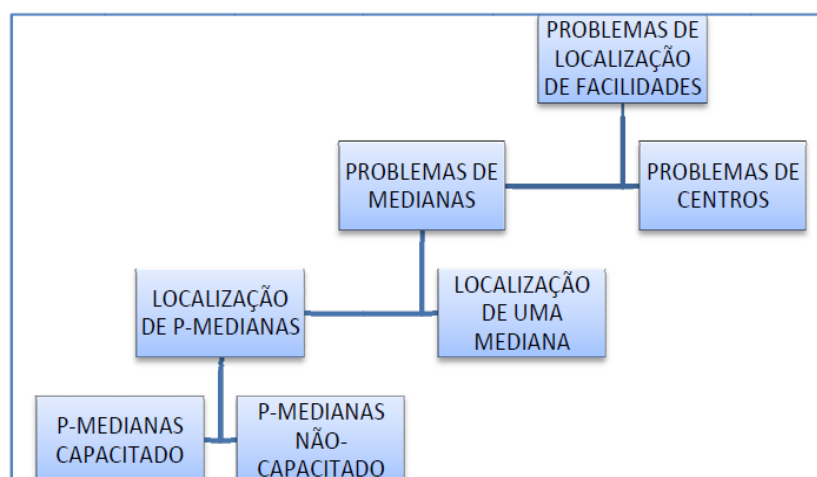


Figura 2.1- Subdivisões do PLF

Os avanços nesta área surgiram a partir das pesquisas de Hakimi (1964), com as primeiras formulações matemáticas do problema de  $p$ -medianas que tem como objetivo localizar  $p$  facilidades que devem atender a  $n$  pontos de demanda de tal forma que a soma das distâncias percorridas de cada ponto de demanda até a facilidade mais próxima seja minimizada.

### 2.2.1. Localização de P-medianas

O problema de  $p$ -medianas<sup>1</sup> pode ser tratado como um modelo de Programação Linear Inteira (PLI) o qual objetiva selecionar  $p$ -facilidades (medianas) num dado conjunto finito de pontos, de modo a minimizar a soma da distância média ou total entre os pontos e as medianas mais próximas. São apresentadas algumas aplicações na literatura, como roteamento de veículos conforme Koskosidis (1992), projeto de redes de computadores proposto por Pirkul (1986) e outras.

Nesse sentido, Pereira (2005) destaca alguns dados relevantes para este problema:

- i. Número finito de pontos com valores conhecidos, denominados pontos de demandas;
- ii. Número finito de locais candidatos para a instalação de facilidades;

<sup>1</sup> Na literatura é conhecido como  $p$ -medianas, em alguns casos neste trabalho será mencionado apenas medianas, visto que o  $p$  utilizado é 20. Este pode ser alterado no aplicativo conforme o número de setores desejados.

- iii. Número de facilidades ou medianas  $p$  a serem instaladas;
- iv. A distância entre cada ponto de demanda e os locais candidatos, pode ser calculada sobre a rede de caminhos que conectam os pontos ou como distâncias euclidianas.

Na distância que trata o item iv pode-se utilizar o produto das distâncias euclidianas entre dois pontos e um coeficiente de correção para produzir uma estimativa da distância real, conforme Capri (2005). Essa distância é dada pela fórmula (2.1):

$$D_R = \alpha \times d_E \quad (2.1)$$

Em (2.1),  $D_R$  é a estimativa da distância real percorrida entre dois locais de uma área urbana;  $\alpha$  é o coeficiente de correção que considera os efeitos de sinuosidades das vias e o tráfego na distância percorrida, pois em uma rede de transporte é difícil obter a distância em linha reta entre dois pontos. Segundo Novaes e Alvarenga (1994), para distribuição urbana o coeficiente adotado é 1,35 e  $d_E$  é a distância euclidiana entre dois locais.

Com relação aos problemas de  $p$ -medianas, estes podem ser não-capacitados ou capacitados. No caso dos não-capacitados considera-se que cada ponto candidato a mediana pode atender a um número infinito de pontos de demanda e em relação aos capacitados, assume-se que cada ponto possui capacidade limitada, não podendo atender mais pontos de demanda do que ela permite (ver Tragantalerngsak et al.,1999). As Figuras 2.2 e 2.3 mostram exemplos para os casos de problemas não-capacitados e capacitados, respectivamente, conforme Lorena (2003).

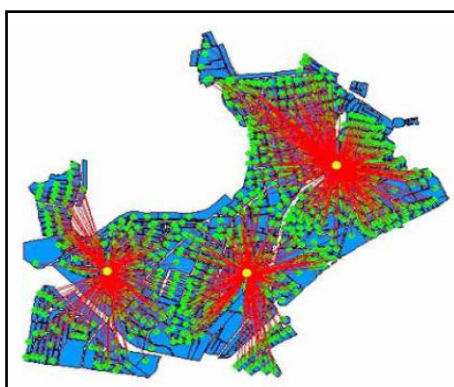


Figura 2.2 – Exemplo de um problema não-capacitado.



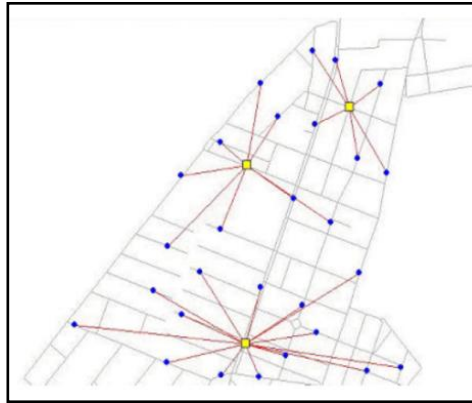


Figura 2.3 – Exemplo de um problema capacitado.

### 2.2.2. Formulação Matemática para o Problema das P-medianas

Tem-se a formulação do problema clássico das p-medianas de acordo com Christofides (1975).

$$\text{Minimizar } Z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n D_{ij} \times \varepsilon_{ij} \quad (2.2 \text{ a})$$

Sujeito a:

$$\sum_{i=1}^n \varepsilon_{ij} = 1 \text{ para } j = 1, 2, \dots, n \quad (2.2 \text{ b})$$

$$\sum_{i=1}^n \varepsilon_{ii} = p \quad (2.2 \text{ c})$$

$$\varepsilon_{ij} \leq \varepsilon_{ii} \quad (2.2 \text{ d})$$

$$\varepsilon_{ij} = 0 \text{ ou } 1 \quad (2.2 \text{ e})$$

Onde:

$[\varepsilon_{ij}]$  é a matriz de alocação tal que,  $\varepsilon_{ij} = 1$ , se  $v_j$  é alocado a  $v_i$   
0, caso contrário

$\varepsilon_{ii} = 1$ , se  $v_i$  é um vértice mediana  
0, caso contrário

A função objetivo (2.2 a) minimiza a soma das distâncias dos vértices até o conjunto de medianas. As restrições (2.2 b) asseguram que qualquer vértice  $v_j$  é alocado a um e, somente um, vértice mediana. A restrição (2.2 c) garante que existem exatamente  $p$  vértices medianas. A restrição (2.2 d) assegura que  $\varepsilon_{ij} = 1$ , somente se,  $\varepsilon_{ii} = 1$ , ou seja, as locações só podem ser feitas a vértices medianas e a restrição (2.2 e) impõem a integralidade, ou seja,  $\varepsilon_{ij}$  é uma variável binária que assume valores igual a um ou zero.

Ao tratar do problema capacitado, deve-se incluir à formulação matemática do problema das  $p$ -medianas, a restrição de capacidade, representada em (2.3), a qual impõe que a capacidade total da mediana seja respeitada, conforme Ferreira et al. (2008).

$$\sum_{i=1}^n D_i x_{ij} \leq C_j x_{jj} \text{ para } j \in N \quad (2.3)$$

Onde:

$N = \{1 \dots n\}$  corresponde ao conjunto de vértices na rede;

$D_i$  é a demanda de cada vértice;

$C_j$  é a capacidade de cada mediana e  $x_{ij}$  é a matriz de alocações, com  $x_{ij} = 1$  se a mediana  $j$  está alocada ao vértice  $i$ , e  $x_{ij} = 0$ , caso contrário.

Os problemas das  $p$ -medianas são considerados de difícil solução, pertencendo à classe  $NP$ -difícil, segundo Garey e Johnson (1979) devido a sua complexidade. Porém, existem algumas técnicas para solucioná-los como os Métodos Exatos, os quais são utilizados em problemas de pequeno porte e buscam encontrar o ótimo do problema de acordo com Steiner (2003). A Programação Inteira e a Enumeração Exaustiva são exemplos destes métodos.

Em problemas de maior porte utiliza-se os Métodos Heurísticos, também denominados métodos aproximados, pois converge para um ponto que não necessariamente é o ponto ótimo do problema, mas sim uma aproximação deste em tempo viável. Como exemplo, tem-se o Algoritmo de Teitz e Bart (1968) que é o mais citado na literatura consultada, também conhecido como Método da Substituição de Vértices pois baseia-se na substituição de medianas na solução.

Além dos métodos heurísticos, destaca-se como técnica de solução para o problema das  $p$ -medianas, a metaheurística de Pesquisa em Vizinhança Variável citada em Hansen et al. (2001), GRASP - procedimento de pesquisa gulosa aleatorizado e adaptativo proposto por

Resende e Werneck (2002), Simulated Annealing de acordo com Chiyoshi e Galvão (2000), Algoritmo Genético estudado por Correa et al. (2001) e Busca Tabu discutido nas pesquisas de Glover (1986) e Laguna (1991).

### 2.2.3. Algoritmo de Teitz e Bart

Aborda-se uma das heurísticas mais conhecidas para a resolução do problema das  $p$ -medianas desenvolvida por Michael B. Teitz e Polly Bart (1968). Este método baseia-se na substituição de vértices e sua finalidade é melhorar o valor da função objetivo a cada iteração, partindo-se de uma solução inicial.

Considera-se o grafo  $G = (V, A)$  no qual todos os vértices são considerados como candidatos a serem medianas e  $v_i$  é qualquer vértice pertencente a  $V$ . Para Christofides (1975), o número de transmissão é obtido através da fórmula (2.4), ou seja, pela soma das menores distâncias entre  $v_i$  e todos os demais vértices do grafo  $G$ .

$$\sigma(v_i) = \sum_{j=1}^n w_j \times d(v_i, v_j) \quad \text{para } \forall v_i, v_j \in V \quad (2.4)$$

Onde  $\sigma(v_i)$  é o número de transmissão do vértice  $v_i$ ,  $w_j$  é o peso associado a cada vértice e  $d(v_i, v_j)$  é a menor distância entre  $v_i$  e  $v_j$ .

Logo,  $v_i$  será um vértice mediana ( $v_m$ ) se, entre todos os vértices do grafo, produzir a menor soma total das distâncias de  $v_m$  até cada um dos demais vértices do grafo, ou seja:

$$\sigma(v_m) = \text{mínimo} [\sigma(v_i)], \forall v_i \in V \quad (2.5)$$

Para encontrar  $p$ -medianas ( $p > 1$ ), considera-se um subconjunto  $V_p \subseteq V$  com  $p$  vértices escolhidos aleatoriamente, onde a quantidade de vértices em  $V_p$  é igual ao número de medianas procuradas, ou seja, ( $|V_p| = p$ ). Então, o número de transmissão para subconjuntos  $V_p$  é:

$$\sigma(V_p) = \sum_{j=1}^n w_j \times d(V_p, v_j) \quad \text{para } \forall v_j \in V \quad (2.6)$$

Onde  $d(V_p, v_j) = \text{mínimo} [d(v_i, v_j)]$  para  $\forall v_i \in V_p, v_j \in V$

Finalmente, um conjunto de  $p$  vértices, entre todos os outros conjuntos de  $p$  vértices do grafo, é a solução ótima para o problema das  $p$ -medianas se produzir a menor distância total de  $V_p$  até todos os outros vértices do grafo, conforme:

$$\sigma(V_p \text{ solução ótima}) = \text{mínimo}[\sigma(V_p)] \forall V_p \subset V \quad (2.7)$$

### 2.2.3.1. Descrição do Algoritmo Teitz & Bart

De acordo com Horner (2009), o algoritmo consiste em partir de uma solução aleatória inicial  $V_p$ , comparar um a um os vértices que estão fora da solução atual  $V - V_p$  e substituir os vértices que possuem uma melhor solução, conforme calculado através da fórmula (2.6). Segue os passos do algoritmo:

**Passo 1:** Selecione aleatoriamente um conjunto  $V_p \subset V$ , com  $|V_p| = p$  para formar uma solução inicial para o problema, sendo  $V_p = \{v_i, \dots, v_p\}$  e  $V - V_p = \{v_j, \dots, v_n\}$ . Chame todos os vértices  $v_i \in V_p$  como “testados” e os vértices  $v_j \in \{V - V_p\}$  de “não testados”.

**Passo 2:** Selecione um vértice “não testado”  $v_j \in \{V - V_p\}$  e realize uma comparação do vértice  $v_j$  com todos os vértices  $v_i \in V_p$ . Calcule a redução  $\Delta_{ij}$  do número de transmissão, para todos os vértices  $v_i$  pertencentes a  $V_p$ , ou seja:

$$\Delta_{ij} = \sigma(V_p) - \sigma\{V_p \cup (v_j) - (v_i)\} \quad (2.8)$$

$\Delta_{ij}$  é a representação do número de transmissão  $\sigma(V_p)$

**Passo 3:** Encontre  $\Delta_{ij \text{ máximo}} = \text{máximo} \Delta_{ij}$ , para todo  $\Delta_{ij}$  calculado anteriormente e  $v_i \in V_p$ .

**I.** Se  $\Delta_{ij \text{ máximo}} \leq 0$  então marque  $v_j$  como “testado” e volte ao Passo 2.

- II. Se  $\Delta_{ij \text{ máximo}} > 0$  então faça  $V_p = V_p \cup (v_j) - (v_i)$  e insira  $v_j$  em  $V_p$ . Marque  $v_j$  como “testado” e volte ao Passo 2.

**Passo 4:** Repita os passos 2 e 3 até que todos os vértices de  $\{V - V_p\}$  estejam marcados como “testados”. Este procedimento é referido como ciclo. Se, durante o último ciclo nenhuma substituição foi feita no passo 3(ii), vá ao passo 5. Caso contrário, se foi feita alguma substituição, rotule todos os vértices como “não testados” e retorne ao passo 2.

**Passo 5:** Pare. O conjunto  $V_p$  atual é o conjunto de medianas.

#### 2.2.4. Algoritmo Busca Tabu (BT)

Trata-se de uma metaheurística que teve origem na década de 60, sendo desenvolvida e melhorada nos trabalhos de Glover (1986), Hansen (1986) e Laguna (1991). Além disso, é considerado um método de busca local que tenta explorar o espaço de soluções movendo-se de uma solução para outra solução melhor.

Destaca-se alguns conceitos importantes sobre BT, segundo Capri (2005) e Horner (2009).

- i. Vizinhança de uma solução: considerando  $x$  como uma dada solução, uma solução  $x'$  é dita vizinha de  $x$ , se é possível chegar em  $x'$  com apenas um movimento  $m$ . Representa-se essa operação por  $x' \leftarrow x \oplus m$ . Cada solução  $x' \in V(x)$  é chamada de vizinho de  $x$ . A função  $V$  depende da estrutura do problema tratado.
- ii. Movimento: é uma função que transforma uma solução em outra.
- iii. Métodos de Busca Local: são técnicas baseadas na noção de vizinhança e percorrem o espaço de pesquisa passando, iterativamente, de uma solução  $x$  para outra que seja sua vizinha  $x'$ .
- iv. Geração de uma solução inicial: para iniciar o método BT, é necessária uma busca local para encontrar uma solução inicial  $x$ . É obrigatório que esta faça parte do

conjunto de soluções possíveis do espaço de pesquisa  $X$ . A solução inicial pode ser gerada de forma aleatória, pois a solução final não depende da escolha feita para a solução inicial.

De acordo com Gonçalves (2003), os elementos básicos do método BT são:

- i. Lista Tabu (T): mantém um histórico das soluções já visitadas não permitindo que o algoritmo revise uma solução pela qual tenha passado nos passos anteriores. O movimento permanece na lista de acordo com o número de iterações do algoritmo e com o número de movimentos possíveis a partir da solução que está sendo analisada.
- ii. Critérios de aspiração: avalia se convém efetuar um movimento proibido, ou seja, quando uma restrição tabu pode ser “quebrada”, ignorada e o movimento classificado como proibido, pode ser executado. Um critério de aspiração bastante utilizado é o de ignorar a restrição Tabu sempre que a solução formada por um determinado movimento proibido for melhor (melhorar o valor da função objetivo global) do que a melhor solução encontrada até o momento.
- iii. Critério de parada: término do algoritmo. É um número pré-especificado de iterações ou após a última melhoria do algoritmo.

Na Figura 2.4 pode ser visualizado o esquema geral do método BT, segundo krishnamachari apud Capri (2005).

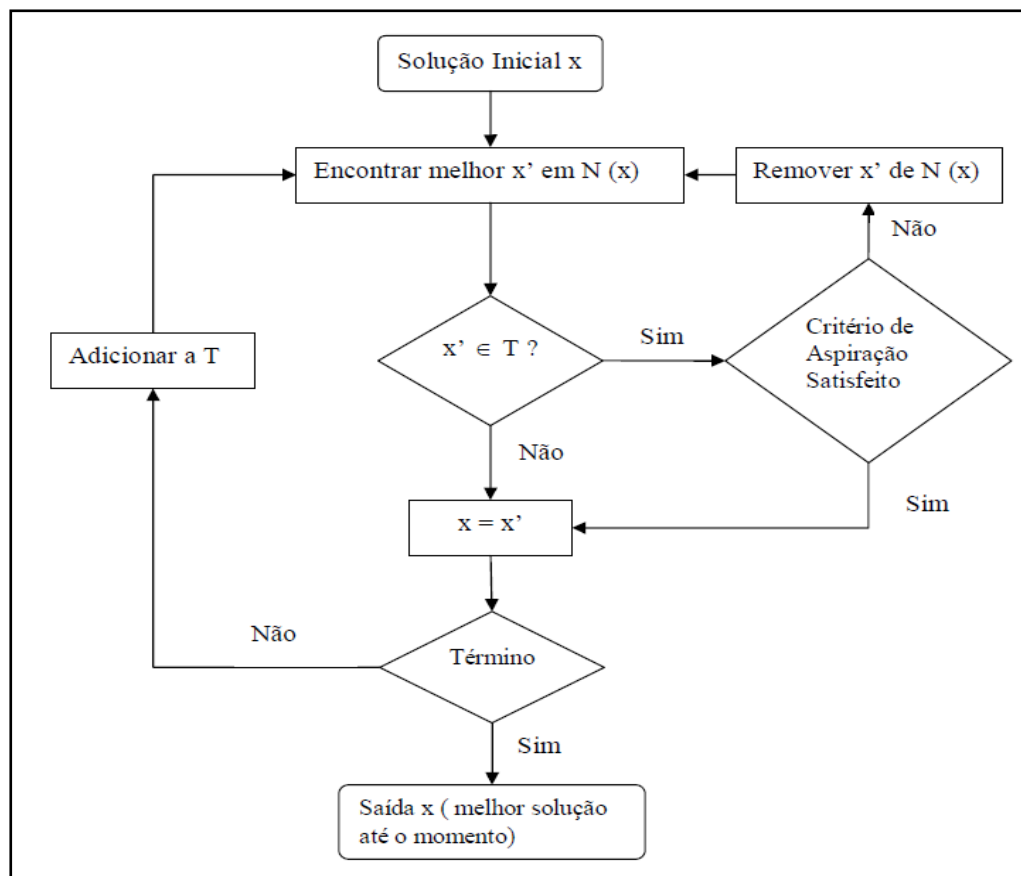


Figura 2.4 - Processo Busca Tabu.

Considera-se  $X$  o espaço de pesquisa de todas as soluções possíveis e  $T$  a Lista Tabu. O algoritmo parte de uma solução inicial aleatória  $x$  e procura todas as soluções vizinhas  $V(x)$  através de uma busca local (é gerada a vizinhança da solução atual). A partir de  $V(x)$ , seleciona-se o vizinho com melhor valor da função objetivo e este passa a ser a solução atual. Novos passos são efetuados até que um critério de parada seja satisfeito durante um determinado tempo ou número de iterações (prazo tabu).

### 2.3. Problema de Transporte

Assim como o PLF, outro ramo da Pesquisa Operacional é o Problema de Transporte (PT) encontrado em Goldberg (2000) e Marins (2011), utilizado para a alocação dos pontos às medianas mais próximas. Foi desenvolvido por Hitchcock (1941), Kantorovitch (1942) e Koopmans (1947) e consiste em determinar a forma mais eficiente e econômica de transportar um serviço disponível em quantidades limitadas em determinados locais para outros locais

onde é necessário. O único fator que varia é o custo de distribuição que depende principalmente da distância entre cada origem  $i$  e cada destino  $j$ . Objetiva-se minimizar o custo total de transporte, respeitando as restrições de ofertas e demandas do produto.

Conforme Marins (2011) e Taha (2008), o PT pode ser representado como um Modelo em Rede<sup>2</sup>. Existem  $m$  origens e  $n$  destinos, cada um representado por um vértice e os arcos são as rotas que ligam as origens aos destinos. A Figura 2.5 destaca o problema sob forma de uma rede.

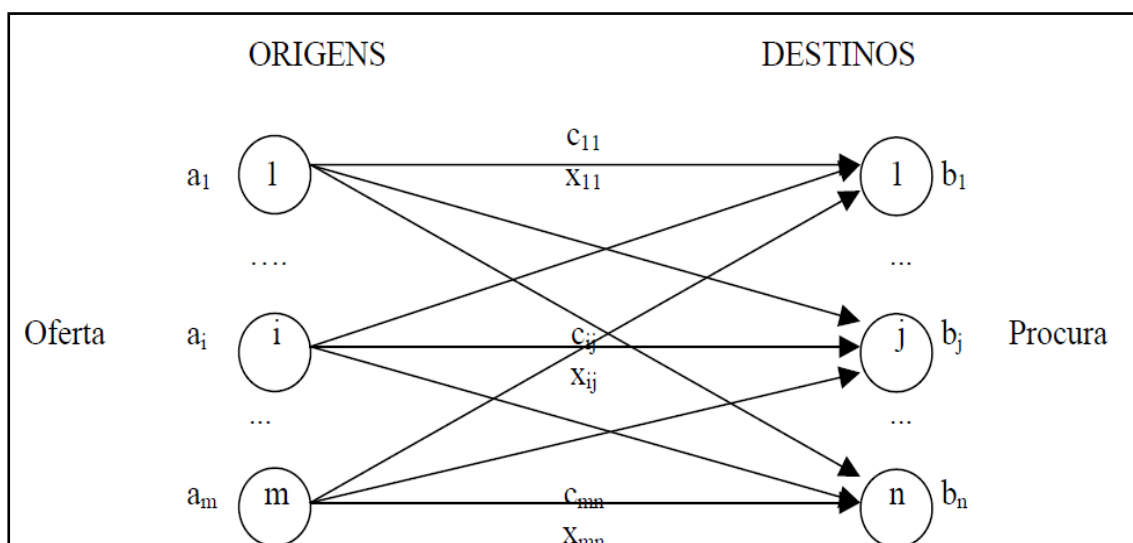


Figura 2.5 - Representação do PT sob forma de uma Rede.

De acordo com a Figura 2.5 existem  $m$  origens com  $a_i$  unidades disponíveis na origem  $i$ , ou seja,  $i= 1, 2, \dots, m$ ;  $n$  destinos com  $b_j$  unidades necessárias no destino  $j$ , ou seja,  $j= 1, 2, \dots, n$ . Considera-se que  $c_{ij}$  é o custo para transportar uma unidade da origem  $i$  ao destino  $j$  e  $x_{ij}$  é o número de unidades a ser enviada da origem  $i$  para o destino  $j$ .

Cada origem pode fornecer certa quantidade (oferta) e cada destino pode consumir certa quantidade (demanda). Através dos custos unitários de transporte de cada origem para cada destino pode-se estabelecer através da Programação Linear um planejamento de todos os produtos com custo mínimo.

A formulação matemática do PT é dada a seguir:

<sup>2</sup> Uma rede é um grafo valorado, ou seja, existem números associados em seus vértices, os quais representam custos (distâncias).



$$\text{Minimizar } Z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} \quad (2.9 a)$$

Sujeito a:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} \leq a_i \text{ para } i = 1, 2, \dots, m \quad (2.9 b)$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} \geq b_j \text{ para } j = 1, 2, \dots, n \quad (2.9 c)$$

$$x_{ij} \geq 0 \text{ e inteiro } \forall i, j \quad (2.9 d)$$

Onde a função objetivo (2.9 a) garante a minimização do custo de transporte da origem  $i$  para o destino  $j$ , as restrições (2.9 b) atendem as ofertas das origens, as restrições (2.9 c) atendem a demanda dos destinos e as restrições (2.9 d) consideram que os valores transportados são inteiros e não negativos.

Vale ressaltar que na resolução do PT, o sistema pode estar equilibrado (balanceado) e desequilibrado (não balanceado). No primeiro caso, a quantidade demandada é igual a quantidade ofertada, logo as quantidades existentes na origem são iguais às do destino. Isso não ocorre no segundo caso, o qual a quantidade demandada é maior que a quantidade ofertada, portanto, as quantidades existentes na origem e no destino são diferentes, havendo a necessidade de se promover o balanceamento, antes da aplicação de algum método. Isto pode ser feito através da introdução de uma origem fictícia (ou destino), conforme a necessidade com nível de produção (ou demanda) exatamente igual a diferença (em módulo) existente entre o total de oferta e demanda.

Existem alguns processos de resolução do PT, sendo os mais conhecidos, segundo Passos (2008), o método de aproximação de Vogel, o método do Custo Mínimo e o método do Canto Noroeste.

### 2.3.1. Método de Vogel

Também denominado de método das penalidades, consiste em fazer o transporte na linha ou coluna que apresentar a maior penalidade e o menor custo. Entende-se por

penalidade, a diferença positiva entre os dois menores custos inseridos na mesma linha ou na mesma coluna.

### **2.3.2. Método da Matriz do Custo Mínimo**

É considerado fácil de ser realizado e de rápida execução, pois as cargas a serem transportadas são alocadas em cada célula a partir do menor custo, dentro da capacidade de cada linha (oferta) ou de cada coluna (demanda) e seguirão em ordem crescente de custo.

### **2.3.3. Método do Canto Noroeste**

Neste método aloca-se a carga a partir da primeira célula (célula noroeste) e descarrega-se nela o máximo possível de carga de acordo com as demandas da primeira coluna e as ofertas da primeira linha. Continua-se da esquerda para a direita até que toda a carga disponível no primeiro depósito seja distribuída. Passa-se para as linhas seguintes até o término de distribuição da carga.

## **2.4. Problema de Designação**

O Problema de Designação (PD), também chamado de Problema de Atribuição, é um caso particular do PT e consiste em designar ou alocar cada uma das origens  $i$  ( $i = 1, 2, \dots, m$ ) a um único destino  $j$  ( $j = 1, 2, \dots, n$ ) de maneira a minimizar o custo total  $c_{ij}$ , sendo que as capacidades de cada origem e as demandas de cada destino são unitárias. Marins (2011, p. 129) afirma que:

Através da designação procura-se representar situações onde se faz necessário alocar os recursos disponíveis de modo que alguma medida de efetividade (geralmente o custo total da designação) do sistema modelado seja otimizada.

Neste tipo de problema, deve ser alocado um recurso para cada atividade e toda atividade deve receber apenas um recurso. Algumas aplicações e exemplos são mostrados na Tabela 2.1 de acordo com Marins (2011).

Tabela 2.1 – Aplicações do PD

<b>Recurso</b>	<b>Atividade</b>	<b>Medida de efetividade</b>
Operários	Trabalhos	Tempo de execução
Caminhões	Rotas	Custo de transporte
Máquinas	Locais	Operacionalidade
Tripulações	Aviões	Ociosidade dos tripulantes
Vendedores	Áreas	Volume de vendas

Além dessas aplicações, encontra-se em Graves *et al.* (1993), Hoffman & Padgerg (1993) e Gamache *et al.* (1999) a utilização do PD na distribuição de leitos hospitalares, na seleção de atletas e na escala de horários para tripulação de empresas aéreas, respectivamente.

Assim como no PT, existem os Problemas de Designação Equilibrados e os não Equilibrados. Passos (2008) destaca o PD com  $n$  trabalhadores e  $n$  tarefas, sendo respectivamente as origens e os destinos, representado pela Tabela 2.2.

Tabela 2.2 - Problema de Designação.

<b>Tarefa Trabalhador</b>	$T_1$	$T_2$	...	$T_n$	<b>Disponibilidades</b>
$A_1$	$x_{11} C_{11}$	$x_{12} C_{12}$	...	$x_{1n} C_{1n}$	1
$A_2$	$x_{21} C_{21}$	$x_{22} C_{22}$	...	$x_{2n} C_{2n}$	1
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
$A_m$	$x_{m1} C_{m1}$	$x_{m2} C_{m2}$	...	$x_{mn} C_{mn}$	1
<b>Necessidades</b>	1	1	...	1	

A formulação matemática para o PD de acordo com Goldberg (2000) é dada por:

$$\text{Minimizar } Z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} \quad (2.10 a)$$

Sujeito a:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1 \text{ para } i = 1, 2, \dots, n \quad (2.10 b)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1 \text{ para } j = 1, 2, \dots, n \quad (2.10 c)$$

$$x_{ij} \geq 0 \text{ e } x_{ij} \in \{0, 1\} \quad (2.10 d)$$

A matriz  $C = [c_{ij}]$  corresponde ao custo da alocação das origens  $i$  (pontos) ao destino  $j$  (medianas). A função objetivo (2.10 a) visa minimizar o custo, as restrições (2.10 b) e (2.10 c) informam qual origem  $i$  deve ser designada ao destino  $j$  e as restrições (2.10 d) define as variáveis de decisão  $x_{ij} = 1$ , se a origem  $i$  for designada para o destino  $j$  e  $x_{ij} = 0$ , caso contrário.

Ressalta-se que o PD pode ser resolvido pelo *Stepping Stone Method* (Marins, 2011) ou ainda pelo Método Simplex. Porém, existem algoritmos especiais que consideram a estrutura especial dos Modelos de Designação e que, de um modo geral, são mais eficientes que os algoritmos gerais, como por exemplo, o Método Húngaro.

#### 2.4.1. Método Húngaro

O Método Húngaro teve origem em 1955, devido uma homenagem feita pelo pesquisador H. W. Kuhn aos descobridores do algoritmo em 1931: os húngaros E. Egerváry e D. König.

Tal método foi proposto para resolver problemas de emparelhamento máximo em grafos bipartidos. Desde então, tem sido largamente implementado em diversos projetos e problemas práticos de alocação de tarefas desde que se construa a matriz-custo  $C$  com as informações que dispomos do problema. Os passos do método húngaro são descritos a seguir:

**Passo 1:** Subtraia a menor entrada de cada linha de todas as entradas da mesma linha;

**Passo 2:** Subtraia a menor entrada de cada coluna de todas as entradas da mesma coluna;

**Passo 3:** Risque um traço ao longo de linhas e colunas de tal modo que todas as entradas zero da matriz-custo sejam riscadas e utilizando um número mínimo de traços;

**Passo 4:** Teste de Otimalidade: Se o número mínimo de traços necessários para cobrir os zeros é  $n$ , então uma alocação ótima é possível e encerramos o procedimento. Se o número mínimo de traços para cobrir os zeros é menor que  $n$  continue até o próximo passo;

**Passo 5:** Determine a menor entrada que não tenha sido riscada. Subtraia essa entrada de todas as entradas não riscadas e a some a todas as entradas riscadas tanto horizontalmente quanto verticalmente. Retorne ao passo (3).

É importante mencionar que para utilizar este método, duas condições devem ser satisfeitas: o problema tem que ser de minimização, caso não seja, deve-se transformar num problema de minimização, multiplicando todas as entradas da matriz-custo por (-1) e a matriz-custo precisa ser quadrada, caso não seja, tem-se um problema não equilibrado e, por isto, há a necessidade de acréscimo de origens ou destino fictício.

## 2.5. Trabalhos Relacionados

Neste item descreve-se alguns trabalhos encontrados na literatura pesquisada que estão relacionados aos problemas mencionados anteriormente, assim como métodos de solução.

Bezerra (1995) apresentou uma metodologia para racionalizar o trabalho de transporte entre o local de coleta e o de processamento de um produto extrativista. Para a otimização do problema, foram utilizados os algoritmos de Floyd, com o objetivo de determinar as distâncias mínimas entre cada vértice que compõem a rede viária, o algoritmo de Teitz e Bart, para a localização dos postos de coleta e o Algoritmo Genético para determinar o roteiro.

Al-Sultan e Al-Fawzan (1999) abordaram o problema de localização de instalações não-capacitado. O algoritmo consistiu em uma busca tabu simples e os resultados computacionais mostraram que o algoritmo proposto foi capaz de encontrar a solução ótima de todos os problemas teste, sendo muito eficiente em termos de tempo quando comparado com outros algoritmos existentes na literatura.

Rosário e Steiner (2002) propôs uma metodologia para a distribuição espacial de Unidades de Saúde 24 horas visando a redução da distância média que os usuários tinham de suas casas para a unidade de saúde mais próxima. Fizeram parte da metodologia o Algoritmo Teitz & Bart, Algoritmo Genético e os Diagramas de Voronoi.

Ducati (2003) desenvolveu e implementou um método de solução para o PLF com restrições de capacidade. Para a resolução foi utilizado o BT com diferentes combinações de memória e comparados aos resultados obtidos através da implementação de uma heurística Lagrangiana proposta na literatura. Concluiu-se que o BT se mostrou eficiente na obtenção de soluções de qualidade e com tempo computacional melhor do que a heurística Lagrangiana.

Michel e Van Hentenryck (2004) desenvolveram um algoritmo simples e rápido para o problema não-capacitado de localização de armazéns. Mostrou-se nesse trabalho que a Busca Tabu tem uma vantagem sobre o Algoritmo Genético para os problemas testados.

Pereira (2005) apresentou a implementação de um algoritmo Branch-and-Price para resolver problemas de localização de facilidades baseados no modelo matemático do problema de p-medianas. A abordagem tradicional de geração de colunas foi comparada com uma nova proposta, onde o critério de custos relativos empregado na seleção de colunas foi modificado pelo multiplicador da relaxação lagrangeana. A eficiência da nova abordagem foi comprovada por testes computacionais envolvendo instâncias com até 900 vértices.

Costa (2005) propôs a utilização de técnicas de Pesquisa Operacional para determinar agrupamentos de clientes de uma concessionária de energia elétrica, com o objetivo de diminuir o tempo de execução dos serviços solicitados pelos clientes, através de uma melhor distribuição de tarefas entre as equipes disponíveis. Para obtenção dos resultados foram utilizados o Algoritmo das p-medianas Capacitado e o Algoritmo Genético. Os vários testes realizados mostraram que as técnicas aplicadas resolveram melhor o problema do que o método manual utilizado pela empresa.

Rodrigues et al (2005) apresentou o estudo do Método Húngaro para o problema de alocação de tarefas, onde o mesmo é aplicado a três exemplos: alocação de escavadeiras em três obras distintas; alocação de quatro moedas raras a cinco interessados e alocação de nove jogadores em nove posições diferentes. Os resultados obtidos foram satisfatórios para os três exemplos, encontrando um custo mínimo no primeiro, uma maximização no segundo exemplo e por fim, a escalação de forma a obter o melhor rendimento do time.

Capri (2005) realizou várias simulações com o objetivo de comparar a heurística de Teitz e Bart, as metaheurísticas Algoritmo Genético e Busca Tabu, assim como suas

combinações. Os resultados mostraram que o BT teve o menor valor de transmissão comparado aos demais.

Prado (2007) abordou o problema de localização de facilidades com restrições de capacidade e fonte única para atender a demanda de clientes. A fonte única impõe que um cliente seja atendido por uma única facilidade e o objetivo é minimizar os custos de instalação e atendimento dos clientes. A metodologia foi a implementação do algoritmo BT para o problema e a comparação de seu desempenho com outros métodos apresentados na literatura.

Gomes e Senne (2008) descreveram um algoritmo de Busca Tabu para a solução de problemas não-capacitados de localização de  $p$ -medianas. O trabalho apresentou resultados computacionais que demonstram a efetividade do algoritmo implementado para a solução de problemas testes disponíveis na literatura.

Horner (2009) mostrou a implementação e análise das heurísticas de Teitz e Bart, Busca Tabu e Algoritmo Genético aplicadas ao problema das  $p$ -medianas. O objetivo foi avaliar o desempenho dos algoritmos em redes pequenas, médias e grandes levando-se em consideração a qualidade da solução e o tempo de resolução. Para isso foram realizados testes em 115 problemas gerados aleatoriamente. Os resultados demonstraram bom desempenho dos algoritmos de Busca Tabu e Algoritmo Genético em redes pequenas e médias. Nos problemas de grande porte, o algoritmo de Teitz e Bart modificado forneceu melhores respostas em menor tempo.

Detofeno (2009) desenvolveu uma metodologia para a obtenção de uma solução otimizada para o problema de geração de rotas na coleta de resíduos sólidos urbanos. Foi utilizada uma combinação de técnicas da Pesquisa Operacional. Entre elas, a utilização da heurística de Teitz e Bart, para a obtenção das  $p$ -medianas e a determinação dos grupos (*clusters*) de pontos a serem designados a cada mediana através do algoritmo de Gillett e Jonhson. O algoritmo do carteiro chinês foi utilizado para se obter o roteamento em cada um dos grupos de atendimento.

## 2.6. Considerações

Neste capítulo foi destacado o PLF, assim como uma de suas classes denominada Problema das  $p$ -medianas. Além disso, apresentou diversos métodos encontrados na literatura estudada para o problema das  $p$ -medianas.

O próximo capítulo descreve o crescente número de automóveis na cidade de Rio Grande e por isso, a necessidade da implantação do sistema de estacionamento rotativo. Destaca-se o funcionamento desse serviço atualmente e a caracterização do problema a ser estudado nesse trabalho.



### 3. CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

#### 3.1. Introdução

Nesse capítulo apresenta-se a caracterização do problema através do estudo de caso referente ao ERR na cidade do Rio Grande, o qual revela o crescente número de veículos em circulação e como os funcionários realizam a fiscalização. Por fim, destaca-se como é feita atualmente a distribuição das vagas na área em estudo.

#### 3.2. Estudo de Caso

A escolha da região em estudo é Rio Grande, localizada no extremo sul do Rio Grande do Sul. De acordo com os dados de 2010 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a cidade possui 197.228 habitantes. A Figura 3.1 mostra no ponto A, a localização da área em estudo de acordo com a pesquisa realizada em Google Maps.



Figura 3.1 - Localização da área em estudo- Rio Grande/RS.

A cidade está em constante crescimento devido à instalação de novas indústrias e os investimentos no setor naval. Em consequência disso, a frota de veículos em circulação iniciou um processo de crescimento, pois de acordo com os dados do Departamento Estadual de Trânsito do Rio Grande do Sul (DETRAN), o município possui cerca de 80 mil veículos e a estimativa é que, em 2020, estejam circulando mais de 160 mil veículos. A Tabela 3.1 mostra esse crescimento entre os anos de 2004 e 2011, segundo o DETRAN.

Tabela 3.1– Número de veículos em circulação.

<b>Ano</b>	<b>Veículos em circulação em Rio Grande</b>
2004	51.048
2005	54.778
2006	58.365
2007	63.159
2008	68.786
2009	73.501
2010	78.867
2011	84.113

Um dos problemas resultantes deste crescimento é a carência de vagas para estacionar na área central. Em razão disso, foi implantado em fevereiro de 2010 o ERR, também conhecido como Zona Azul, com o objetivo de aumentar a rotatividade das vagas disponíveis, sendo que aproximadamente 1277 vagas foram destinadas a este serviço. Este sistema é gerenciado por 46 parquímetros distribuídos ao longo das ruas e a cada meia hora o motorista paga R\$ 0,65 podendo permanecer o tempo máximo de duas horas. São responsáveis pelo serviço a empresa Rek Parking juntamente com a Secretaria Municipal da Segurança, dos Transportes e do Trânsito (SMSTT) da Prefeitura Municipal do Rio Grande.

Com relação ao número de funcionários, existem atualmente 24 fiscais (ou monitores) que percorrem os trechos de quadra que lhes são atribuídos, verificam se os veículos permanecem estacionados dentro do tempo estipulado e anotam as ocorrências caso sejam necessárias. Para melhor entendimento, define-se trecho de quadra sendo um “pedaço” de rua entre duas retas transversais de um único lado, conforme Figura 3.2, a qual exemplifica os trechos de quadra através das cores, amarela, vermelha, azul, laranja, rosa e preta.

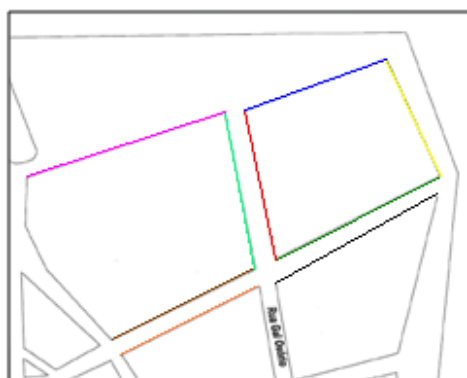


Figura 3.2 – Representação dos trechos de quadra.

Dentre os 24 fiscais, dois exercem a função de pivô, ou seja, percorrem todos os setores auxiliando os demais de forma a evitar sobrecarga. Além dos monitores, o sistema também conta com dois supervisores, sendo um supervisor para cada 12 fiscais, cuja função é percorrer todas as ruas e supervisionar o trabalho dos monitores.

Em 1º de agosto de 2011 houve a primeira ampliação do sistema contemplando aproximadamente 300 vagas. Esta mudança surgiu a partir de solicitações de moradores e comerciantes que relataram a necessidade de novas vagas para estacionar. A Figura 3.3 destaca os trechos de quadra que foram adicionados e os que foram retirados do sistema de estacionamento após a ampliação conforme RBSTV Rio Grande (2011).

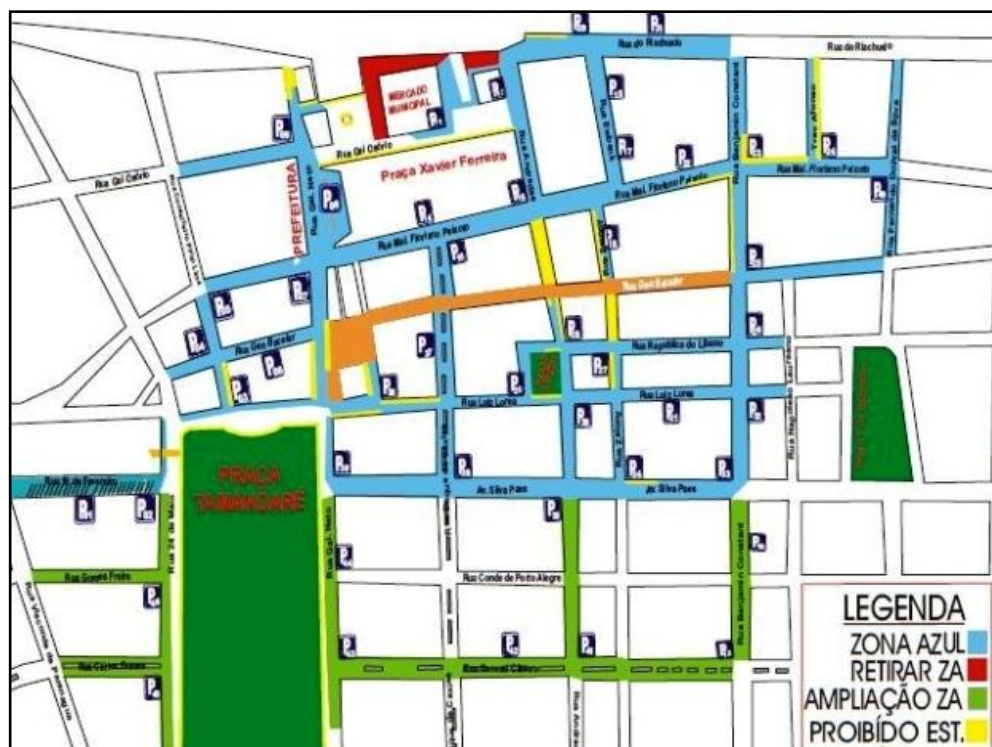


Figura 3.3- Trechos adicionados e retirados do sistema de estacionamento.



Dentre as vagas destinadas à Zona Azul, existem vagas para carros (C), motos (M), idosos (I) e deficientes físicos (DF). O critério utilizado para o cálculo dos espaços referentes às vagas de motos é que a cada seis vagas de moto, conta-se uma vaga de carro. A tabela contendo esta distribuição e as ruas que compõe o ERR encontra-se no Anexo 01.

Ressalta-se também, que não há no regulamento da empresa dados referentes a quantidade de vagas existentes em cada um dos setores, nem quantas vagas os fiscais atendem ao longo do seu turno, portanto, não são consideradas o total de vagas que cada monitor percorre, acarretando assim em funcionários sobrecarregados.

### **3.3. Considerações Finais**

Conforme visto no decorrer do capítulo, verifica-se que o serviço é realizado de maneira empírica, pois a divisão dos fiscais é feita de acordo com a distribuição dos parquímetros, não levando em consideração o número de vagas atendidas por cada fiscal.

O próximo capítulo aborda a metodologia desenvolvida para se obter uma nova forma de estruturação do serviço de estacionamento rotativo do município de Rio Grande, visando atingir os objetivos propostos.

## 4. METODOLOGIA PROPOSTA

### 4.1. Introdução

Inicialmente apresenta-se a metodologia dividida em seis etapas contendo a estruturação do problema através da saída de campo; o cadastramento dos pontos com o auxílio de um software; a determinação das medianas; a designação dos trechos de quadra a estas medianas; a localização de duas medianas e, por fim, a alocação dos setores às medianas. A Figura 4.1, destaca estas etapas.

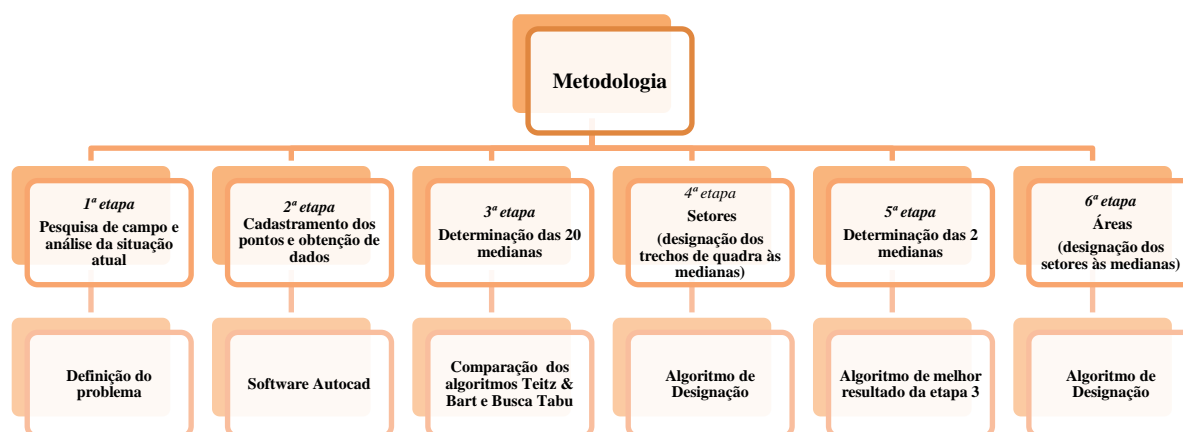


Figura 4.1 - Metodologia para o ERR.

### 4.2. Primeira Etapa: Pesquisa de Campo e Análise da Situação Atual

Nessa fase foi realizada a saída de campo para a contagem do número de vagas em cada trecho de quadra das ruas que compõe o estacionamento rotativo, isto porque tanto a empresa responsável quanto a SMSST não possuem essa quantidade de vagas por trechos, apenas por ruas. A Tabela 4.1 mostra estes dados, sendo que a mesma encontra-se completa no Apêndice A.

Tabela 4.1 – N° de vagas dos trechos de quadra

<b>Pontos ou trecho <i>i</i></b>	<b>N° de vagas (<math>V_i</math>)</b>
1	13
2	8
3	11
4	12
5	9
...	...
124	14
125	12
126	11

Na continuidade da saída de campo, verificou-se algumas irregularidades entre as informações fornecidas pelos responsáveis da empresa e as informações observadas na prática. Por este motivo, oito trechos de quadra não serão considerados nesta pesquisa, pois na realidade, estes não fazem parte da área em que existe o estacionamento rotativo. Por outro lado, existem outros quatro trechos de quadra que pertencem a Zona Azul e estes serão adicionados ao trabalho. Tais trechos retirados e adicionados são mostrados na Tabela 4.3.

Tabela 4.2 – Trechos de quadra retirados e adicionados ao sistema

<b>Trechos que não possuem ERR (retirados)</b>	<b>Trechos que possuem ERR (adicionados)</b>
Rua Gomes Freire entre Visconde de Paranaguá e 24 de Maio	Rua General Osório entre General Neto e Andradadas (Praça Xavier Ferreira)
Rua General Neto entre General Bacelar e Mal Floriano	
Cais dos Pescadores entre Francisco C. e General Osório	Câmara do Comércio em frente a Praça Xavier Ferreira
Rua Luiz Loréa entre Andradadas e Zalony	
Avenida Silva Paes entre Andradadas e Zalony	
Rua Luiz Loréa entre Zalony e Benjamin Constant	Rua Marechal Floriano entre Travessa do Afonso e Benjamin Constant
Rua Luiz Loréa entre Benjamin Constant e Napoleão Laureano	Eurico Miranda entre General Bacelar e Luiz Loréa
Rua Benjamin Constant entre General Bacelar e República do Líbano	

### 4.3. Segunda Etapa: Cadastramento dos Pontos e Obtenção de Dados

Pelo fato da empresa não ter a quantidade de vagas em cada trecho de quadra e quantos trechos há nos setores, nesta etapa realiza-se a contagem nos 126 trechos de quadra do ERR de Rio Grande. Após, fez-se o cadastramento destes trechos no mapa georreferenciado em coordenadas UTM (Universal Transverse Mercator)<sup>3</sup> tendo como referencial o Fuso<sup>4</sup> 22 e, com o auxílio do software AutoCAD (Computer Aided Design), obteve-se suas coordenadas, conforme destaca a Tabela 4.3. As demais coordenadas estão no Apêndice A.

Tabela 4.3 – Relação das coordenadas

Pontos ou trecho <i>i</i>	Coordenadas x	Coordenadas y	Medidas (m)
1	427955,1791	6456307,9419	92,70
2	427915,5321	6456362,9182	98,98
3	427914,6131	6456381,5891	111,26
4	427975,8837	6456403,7983	66,48
5	427916,7072	6456460,3551	137,40
...	...	...	...
124	428199,6382	6456322,57	114,14
125	428131,3706	6456270,885	93,75
126	428149,2198	6456367,579	67,41

A partir da Tabela 4.3, observa-se que o software utilizado também forneceu a medida de cada trecho de quadra. Na continuidade desta etapa, em todos os pontos médios dos trechos de quadra foi cadastrado um ponto e, cada um destes, corresponde a um trecho de quadra a ser percorrido pelo fiscal. A inserção destes pontos está representada no mapa da Figura 4.2.

---

<sup>3</sup> Para fins de esclarecimentos, o UTM é um sistema de coordenadas baseado no plano cartesiano (eixo x,y) e usa o metro (m) como unidade para medir distâncias e determinar a posição de um objeto. Pelo fato de não acompanhar a curvatura da Terra, seus pares de coordenadas também são chamados de coordenadas planas.

<sup>4</sup> Em toda a área continental brasileira com a projeção UTM, são considerados 8 fusos e tratando-se do município de Rio Grande, sua localização geográfica coincide com o fuso 22.



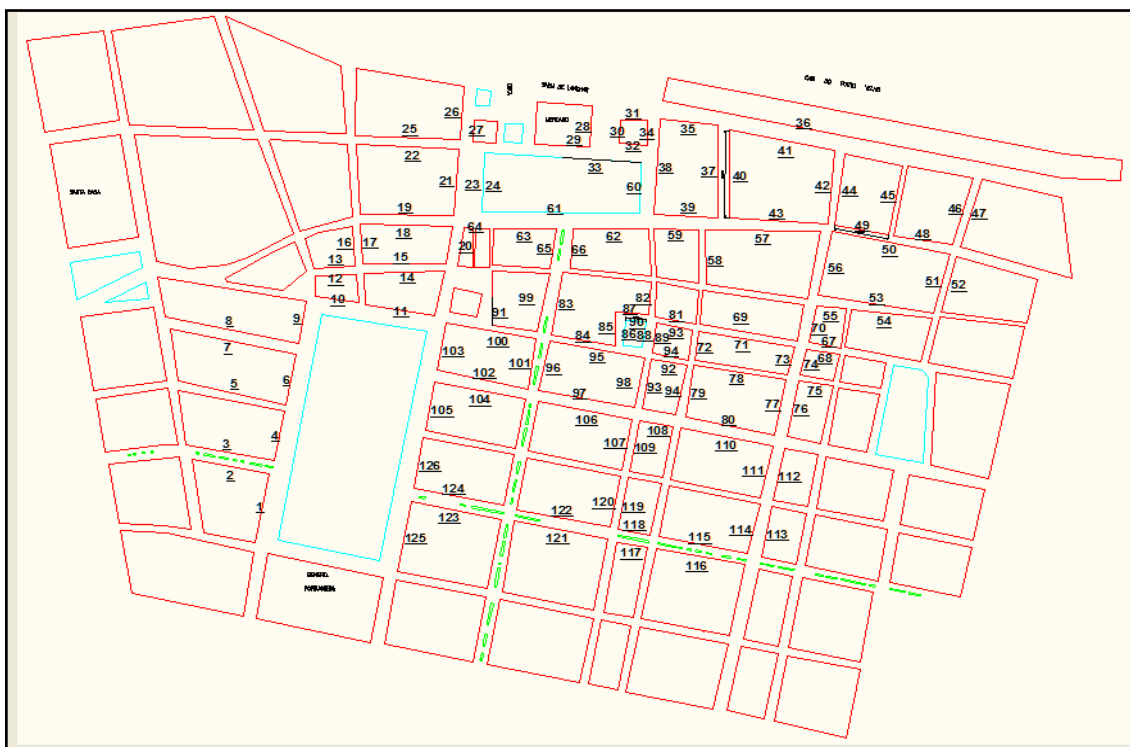


Figura 4.2 – Mapa com a inserção dos 126 pontos cadastrados

Outro dado importante é a taxa de ocupação de cada trecho de quadra. Com relação a esta Capri (2005) afirma que existem três categorias:

- i. **Alta:** considerando uma taxa de 100% de ocupação,
- ii. **Média:** considerando uma taxa de 60% de ocupação;
- iii. **Baixa:** considerando uma taxa de 30% de ocupação.

Com o objetivo de obtê-las, fez-se uma análise das ruas que possuem maior movimentação e ocupação de veículos, pois conforme as informações fornecidas pela empresa, estas ruas são as próximas aos estabelecimentos comerciais, uma vez que a maioria da população se desloca em busca de serviços.

Nesse sentido, verifica-se que mesmo havendo outros fatores como horários de maior movimento no mesmo dia e dias da semana com maior movimentação, tais ruas são consideradas com taxa alta. Um exemplo disso são as ruas General Neto, Luiz Loréa e Marechal Floriano, as quais são ocupadas por serviços como Bancos, supermercados, lojas, hotéis e etc. Em razão disso, são constantemente movimentadas e ocupadas por veículos, independente de horários e dias da semana.

Em contrapartida, as ruas que possuem menor ocupação são as mais distantes do comércio, como exemplo, a rua Carlos Gomes e parte da rua General Câmara. E por fim, as ruas que possuem média ocupação, cita-se a 24 de Maio, Riachuelo e parte da rua Benjamin Constant, pois não ficam muito distantes e nem muito próximas da zona central do município.

Para visualizar o que foi exposto, construiu-se o mapa representado pela Figura 4.3 contendo os trechos e suas respectivas taxas de ocupação. Os trechos na cor vermelha representam um taxa alta de ocupação de veículos, os trechos na cor azul representam uma taxa média e os trechos na cor amarela, uma taxa baixa de ocupação.

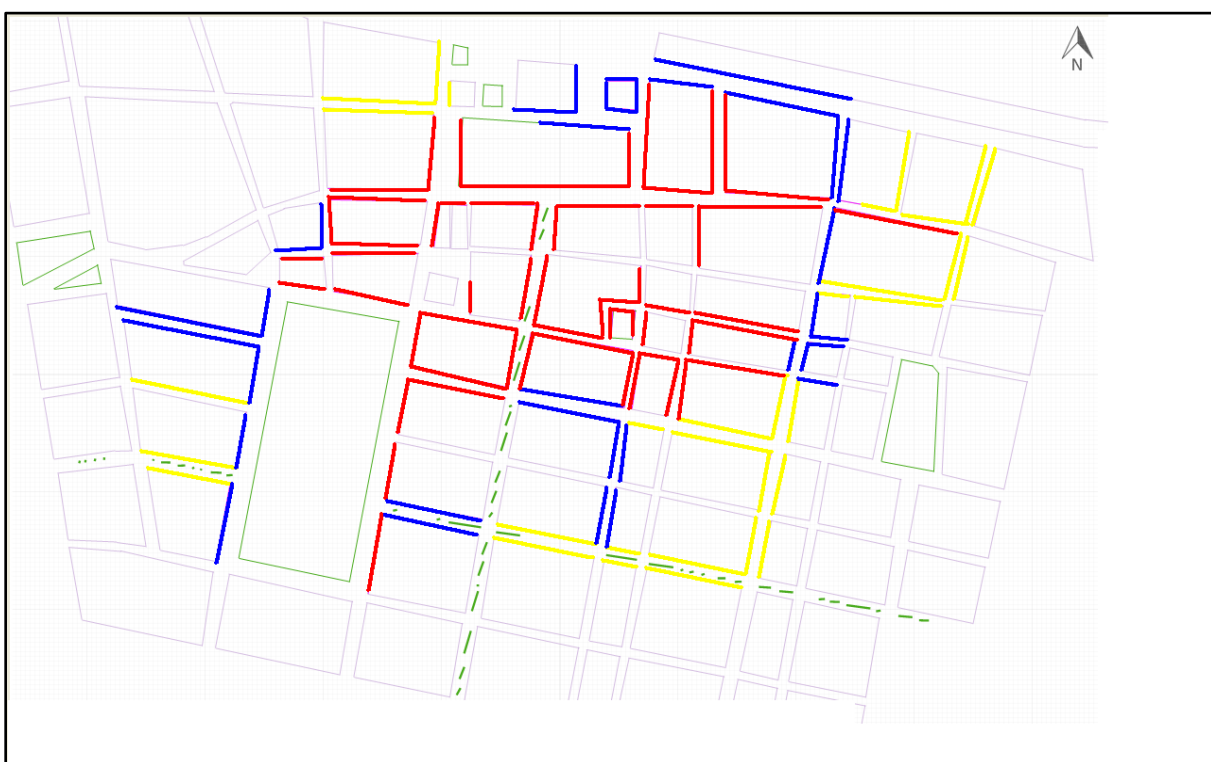


Figura 4.3 - Mapa contendo os trechos e suas taxas de ocupação.

Estas taxas serão utilizadas na quarta etapa da metodologia, assim como o número de vagas de cada trecho de quadra obtido anteriormente.

#### 4.4. Terceira Etapa: Determinação das 20-medianas

Com o objetivo de obter uma melhor distribuição dos fiscais do sistema de estacionamento rotativo de Rio Grande, esta etapa é composta pela determinação das p-medianas que, posteriormente,

serão utilizadas para a formação dos setores. Define-se  $p = 20$ , pois deseja-se obter 20 setores de fiscalização e não haver alterações no número atual de funcionários da empresa. Em razão disso, propõe-se que cada fiscal seja responsável por um setor e a existência de quatro pivôs para auxiliarem os demais fiscais em horários e locais de maior movimento, permanecendo os 24 fiscais no atual serviço. Caso seja oportuno a redução de setores e/ou fiscais, o aplicativo permite a variação do  $p$ .

Na Figura 4.4 tem-se a representação do problema real em um grafo, sendo este uma estrutura matemática denominada  $G(V, A)$  onde  $V$  é formado pelo conjunto de trechos de quadra  $\{v_1, \dots, v_{126}\}$ , sendo que cada um destes representa o par ordenado  $(x, y)$ , composto pelas coordenadas UTM. O conjunto  $A$  é constituído pelas arestas  $\{a_1, \dots, a_n\}$  onde  $n$  representa o número de ligações entre todos os trechos de quadra do grafo não orientado. A cada aresta  $a_j$ , sendo  $j = 1, \dots, n$  tem-se um par de vértices de  $V$ , como por exemplo,  $a_j = (v_r, v_s)$  onde  $v_r$  e  $v_s$  são dois trechos de quadra quaisquer de  $V$ .

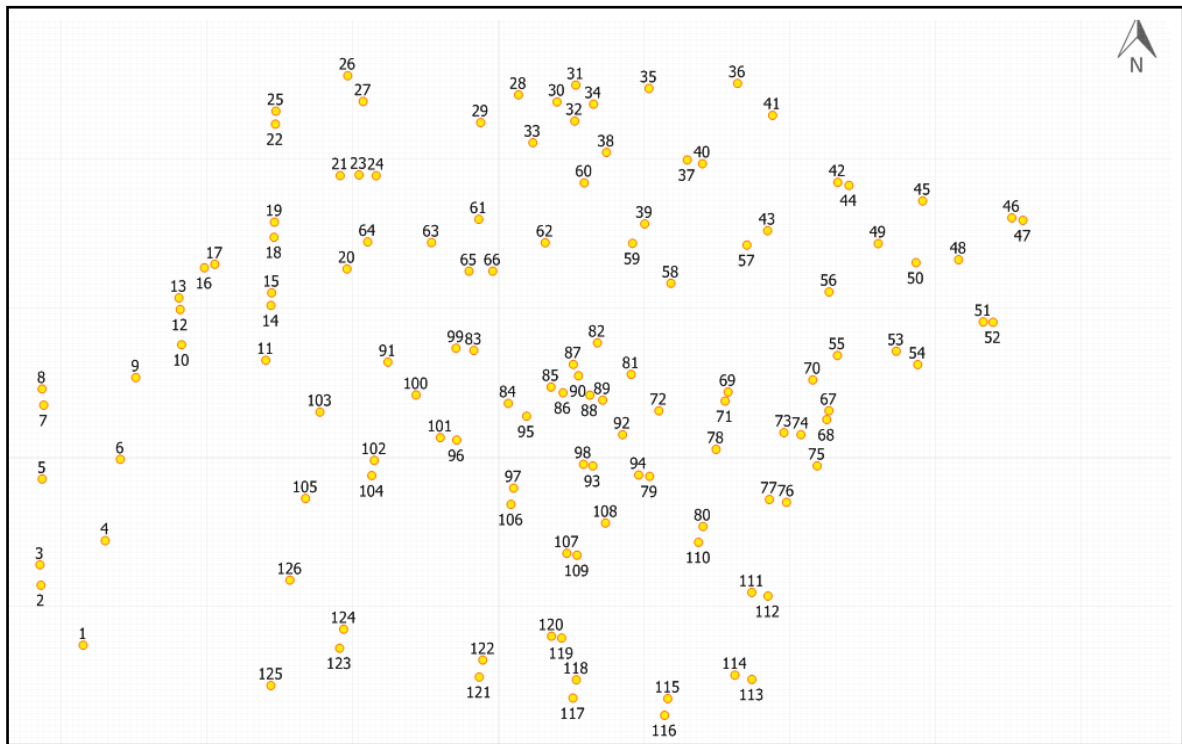


Figura 4.4 – Grafo do problema real.

Além disso, a cada aresta  $a_j$  está associada a distância  $d(v_r, v_s)$  que corresponde ao percurso que o fiscal irá percorrer entre dois trechos de quadra. A fim de facilitar a compreensão é apresentado no Apêndice B.1 o exemplo de um grafo e suas respectivas arestas e coordenadas.

Para calcular a distância  $d(v_r, v_s)$ , utiliza-se a fórmula euclidiana multiplicada pelo fator de correção 1,35, conforme descrito no Capítulo II, para produzir uma estimativa da

distância real. Pelo fato de muitas cidades não manterem a mesma semelhança quanto à planaridade, tentou-se ajustar este fator, escolhendo alguns vértices arbitrários do grafo do problema real e calculou-se as distâncias entre estes pontos alternando o fator de correção entre 1,33 e 1,36. No entanto, obteve-se uma aproximação da distância real utilizando o fator de correção 1,35 e por este motivo, optou-se então, em mantê-lo. Encontra-se um exemplo, no Apêndice B.2, que mostra esta aproximação. O resultado das distâncias entre todos os trechos de quadra é mostrado no Apêndice C através da Matriz das Distâncias Euclidianas.

A resolução do PLF torna-se impraticável pelos métodos exatos, justificando-se o emprego dos algoritmos Teitz e Bart e Busca Tabu para localizar as medianas. Será realizada uma comparação dos resultados destes métodos, optando pelo algoritmo que resultar na solução de melhor qualidade.

#### 4.4.1. Algoritmo de Teitz e Bart para 20-medianas

Considera-se todos os trechos de quadra do grafo  $G = (V, A)$  como potenciais medianas. A partir do conjunto  $V$  deve-se encontrar um conjunto  $V_{20} \subset V$ , tal que a soma das distâncias de cada trecho de quadra restante em  $V' = V - V_{20}$  até o trecho de quadra mais próximo em  $V_{20}$  seja a mínima possível, ou seja, o conjunto com o menor número de transmissão, dado por:

$$\sigma(V_{20}) = \sum_{v_{i_L}}^{L=106} w_i \times d(v_{i_L}, v_{i_k}) \text{ para } \forall v_{i_L} \in V' \text{ e } v_{i_k} \in V_{20} \quad (4.1)$$

Onde:

- i.  $V$  é o conjunto dos trechos de quadra  $V = \{v_i, \dots, v_{126}\}$ , sendo  $i = 1, 2, 3, \dots, 126$ ;
- ii.  $V_{20}$  é o subconjunto de  $V$  pois  $V_{20} \subset V$ , ou seja,  $V_{20} = \{v_{i_1} \dots v_{i_{20}}\}$ ;
- iii.  $V' = V - V_{20} = \{v_{i_1} \dots v_{i_{106}}\}$ , sendo  $i$  qualquer um dos 126 trechos de quadra de  $V$ ;
- iv.  $v_{i_k}$  são todos os vértices pertencentes ao subconjunto  $V_{20}$ , sendo  $k = 1, \dots, 20$ ;
- v.  $v_{i_L}$  são todos os trechos de quadra pertencentes ao conjunto  $V'$ , sendo  $L = 1, \dots, 106$ ;

- vi.  $w_i$  é o peso associado em cada trecho de quadra, que para este problema será definido como 1 (um) pois todos os trechos de quadra possui a mesma chance de ser um vértice mediana.

A seguir são descritos os passos do algoritmo:

### **Passo 1: Solução inicial**

Seleciona-se arbitrariamente 20 medianas e todos os vértices  $v_{i_k}$  pertencentes ao subconjunto  $V_{20}$ , serão chamados de “testados” e todos os vértices  $v_{i_L}$  pertencentes ao conjunto  $V'$ , serão chamados de “não testados”. Posteriormente, calcula-se o número de transmissão  $\sigma(V_{20})$  dos 20 vértices pertencentes à solução inicial, através da fórmula (4.1).

### **Passo 2: Cálculo da redução $\Delta_{i_r i_k}$**

Seleciona-se um vértice  $v_{i_r}$  “não-testado” do conjunto  $V'$  e calcula-se a redução no valor de transmissão para cada vértice  $v_{i_k} \in V_{20}$ . O vértice  $v_{i_r}$  será substituído por cada vértice do conjunto  $V_{20}$  e a cada substituição tem-se um valor para  $\Delta_{i_r i_k}$  dado por  $\Delta_{i_r i_k} = \sigma(V_{20}) - \sigma\{V_{20} \cup (v_{i_r}) - v_{i_k}\}$ , sendo  $k = 1, \dots, 20$ . Para cada vértice  $v_{i_k} \in V_{20}$ , será calculado  $\Delta_{i_r i_k}$ , sendo  $v_{i_r}$  o vértice selecionado do conjunto de vértices “não testados”.

### **Passo 3: Escolha do $\Delta_{i_r i_k}$ máximo**

Para todo  $\Delta_{i_r i_k}$  calculado anteriormente será encontrado  $\Delta_{i_r i_k}$  máximo. Se o valor  $\Delta_{i_r i_k}$  máximo  $> 0$ , deve-se fazer  $V_{20} = V_{20} \cup (v_{i_r}) - v_{i_k}$ , sendo  $v_{i_r}$  o vértice escolhido e  $v_{i_k}$  um dos 20 vértices da solução inicial para o qual  $\Delta_{i_r i_k}$  for máximo. Isto significa que  $v_{i_r}$  será inserido em  $V_{20}$ , ou seja, será marcado como testado e fará parte do conjunto de solução inicial e  $v_{i_k}$  sairá desta solução. Recomeça-se do Passo 2 novamente.

Se o valor  $\Delta_{i_r i_k}$  máximo  $\leq 0$ , apenas marca-se  $v_{i_r}$  como testado e recomeça-se do Passo 2. Neste caso,  $v_{i_r}$  é rotulado como testado mas não entra para o conjunto  $V_{20}$  de solução inicial, pois este vértice não ajudou a diminuir o número de transmissão.

#### Passo 4: Vértices testados

Serão repetidos os passos 2 e 3 até que todos os vértices do conjunto  $V'$  sejam testados. Se durante a escolha do último vértice do conjunto não acontecer de  $\Delta_{i_r i_k}$  máximo  $> 0$ ,  $V_{20}$  será uma solução aproximada. Se acontecer de  $\Delta_{i_r i_k}$  máximo  $> 0$ , volta-se ao Passo 2.

Assim, o algoritmo consiste em, a partir de uma solução inicial aleatória, comparar os demais vértices pertencentes a  $V$  e substituir os vértices com menor valor na função objetivo.

#### 4.4.2. Algoritmo Busca Tabu para 20-medianas

Apresenta-se a especificação do algoritmo BT utilizado para encontrar as medianas do problema em estudo.

**Espaço de pesquisa:** É o espaço de todas as soluções possíveis, ou seja,  $V$  é o conjunto dos trechos de quadra,  $V = \{v_i, \dots, v_{126}\}$ , sendo  $i = 1, 2, 3, \dots, 126$ ;

**Solução inicial:**  $V_{20} = \{v_{i_1} \dots v_{i_{20}}\}$ , onde  $v_{i_k}$  são todos os vértices pertencentes ao subconjunto  $V_{20}$  e  $k = 1, \dots, 20$ . A solução inicial é gerada com exatamente 20 vértices medianas e selecionada aleatoriamente do conjunto  $V$ . Neste caso, será a mesma solução inicial utilizada no Teitz e Bart, pois pretende-se fazer uma comparação entre estes algoritmos. Calcula-se a função objetivo da solução inicial utilizando a fórmula (4.1).

**Novas soluções (vizinhança da busca tabu):** A geração de novas soluções consiste em analisar a cada iteração uma solução vizinha à solução inicial. As soluções vizinhas são geradas basicamente por três tipos de movimentos: adicionar (ADD), retirar (DROP) ou trocar (SWAP). Ao realizar o movimento ADD deve-se fazer o DROP para manter o número de medianas, sendo que os três movimentos (ADD, DROP e SWAP) não necessariamente devam ser executados todos na mesma iteração. Segue a especificação de cada movimento.

- i. Movimento ADD (adiciona uma mediana a solução atual): seleciona um vértice  $v_{i_L} \in V'$  e adiciona ao conjunto de solução atual  $V_{20}$  de tal forma que o valor da função objetivo da nova solução obtida seja a melhor possível (neste caso, o menor valor). Cada movimento considera 106 vértices como candidato a ser adicionado a nova

solução. Tem-se então, uma nova solução inicial. O vértice adicionado entrará para a lista tabu, conforme o Tempo Tabu estipulado.

- ii. Movimento DROP (remove uma mediana da solução atual): seleciona um vértice (mediana)  $v_{i_k}$  que retirado de  $V_{20}$  resulte no menor valor da função. Este vértice será movido para o conjunto  $V'$ . Cada movimento considera 20 vértices como medianas a serem removidas da solução atual.
- iii. Movimento SWAP (realiza substituições): seleciona dois vértices, sendo o vértice  $v_{i_k} \in V_{20}$  e  $v_{i_L} \in V'$  que, ao serem trocados, resulte na melhoria do valor da função objetivo. Este movimento é executado sempre que se tiver  $|V_{20}| = 20$  entre a alternância da execução dos movimentos de adição e remoção. Considera-se o número de todas as possíveis trocas como sendo:  $V_{20} \times V'$ , tem-se  $20 \times 106 = 2.120$  trocas.

Em resumo, parte-se da solução inicial contendo 20 vértices, aplica-se o movimento DROP que retira um vértice mediana, logo  $V_{20}$  ficará com 20-1 vértices. Em seguida é aplicado o movimento ADD que adiciona um vértice fazendo com que  $V_{20}$  volte a ter exatamente 20 vértices. Então como  $|V_{20}| = 20$ , executa-se o movimento SWAP que troca um vértice de  $V_{20}$  por outro do conjunto  $V'$  mantendo o conjunto  $V_{20}$  com exatamente 20 medianas. Posteriormente, aplica-se o movimento ADD fazendo com que  $V_{20}$  passe a conter  $20 + 1$  vértices. Novamente o movimento DROP é aplicado reduzindo o número de vértices em  $V_{20}$  de  $20 + 1$  para 20 vértices. O próximo movimento aplicado é o SWAP mantendo o conjunto  $V_{20}$  com 20 vértices. Esta sequência é executada até a condição de término.

**Restrições Tabu (Tempo):** Quando um vértice for adicionado ou trocado em  $V_{20}$ , será classificado como tabu. O tempo que este vértice permanecerá como tabu é dado como o número de iterações ou poderá ser um tempo não fixo. Estas restrições são impostas somente aos movimentos ADD e SWAP (adicionada ou trocada em  $V_{20}$ ). Coloca-se na lista tabu o vértice do movimento ADD e no movimento SWAP, como é uma troca, coloca-se o vértice que será adicionado em  $V_{20}$ .

**Critério de aspiração:** São regras que determinam quando uma restrição tabu pode ser “quebrada” e um movimento classificado como tabu pode ser realizado. Geralmente, ignora-se a restrição sempre que o valor da solução resultante for melhor que a melhor solução encontrada até o momento.

Um movimento classificado como tabu pode ser realizado se a solução obtida com o movimento for uma solução factível ( $V_{20}=20$ ) quando  $V_{20}$  tiver exatamente 20 medianas. Logo, o critério de Aspiração não funciona para o ADD.

Ao começar pelo movimento ADD,  $V_{20}$  passa a ter 21 medianas, logo não funciona o critério de aspiração, mas funciona para o DROP e SWAP. Se for pelo DROP,  $V_{20}$  passa a ter 19 medianas, logo não funciona o critério de aspiração, mas funciona para o ADD e SWAP.

**Estratégia da oscilação:** O movimento de adicionar, remover ou trocar são sequencialmente executados de modo que o número de medianas no conjunto  $V_{20}$  irá variar  $p - 1 \leq |V_{20}| \leq p + 1$ , ou seja,  $20 - 1 \leq |V_{20}| \leq 20 + 1$ .

Para um melhor entendimento, encontra-se no Apêndice B.3 a resolução de um exemplo didático para a metaheurística Busca Tabu.

#### 4.5. Quarta Etapa: Formação dos Setores

Após a determinação das medianas pela solução de melhor qualidade entre os algoritmos de Teitz & Bart e Busca Tabu, será realizada a designação dos trechos de quadra às medianas mais próximas utilizando o PD. Assim serão obtidos os 20 setores de fiscalização do ERR do município de Rio Grande.

Para isso é necessário calcular a demanda ( $D_i$ ) de cada um dos 126 trechos de quadra. Sendo  $V_i$  o número de vagas de cada trecho de quadra e  $T_i$  a taxa de ocupação, a demanda é obtida pela fórmula:

$$D_i = V_i \times T_i \quad (4.2)$$

É importante destacar que o problema das p-medianas tratado nesta pesquisa é não-capacitado, ou seja, ao calcular as medianas não são consideradas suas capacidades. A



restrição de capacidade, dada pela Equação (4.3), é utilizada no PD com o objetivo de automatizar os mapas de cobertura, tornando o sistema de estacionamento rotativo dinâmico a cada trecho de quadra retirado ou adicionado do sistema, pois cada mediana  $j$  possui uma capacidade  $C_j$  que deve ser respeitada de acordo com a demanda  $D_i$  do trecho  $i$ .

$$\sum_{i=1}^{106} x_{ij} D_i \leq C_j \text{ para } j = 1, 2, \dots, 20 \quad (4.3)$$

A capacidade ( $C_j$ ) das medianas é calculada da seguinte maneira:

- i. Soma-se as demandas de todos os pontos;
- ii. Divide-se pelo número de pontos que devem ser designados, neste caso, 106;
- iii. Multiplica-se pelo total de pontos do problema que são 126;
- iv. Divide-se por 20 que é o número de medianas.

Desta maneira, obtém-se a fórmula:

$$C_j = \frac{\sum_{i=1}^{126} V_i \times T_i}{106} \times \frac{126}{20} \quad (4.4)$$

Esta capacidade irá variar quando um trecho de quadra for adicionado ou retirado do sistema de ERR, pois  $C_j$  é calculada de acordo com a taxa de ocupação e o número de vagas de cada trecho de quadra. O objetivo do cálculo dessa capacidade é para que haja, aproximadamente, o mesmo número de vagas em cada setor, tornando igualitário o serviço entre os funcionários.

#### 4.5.1. Formulação Matemática para o PD

Considera-se que:

- i. Existem 106 trechos de quadra com uma demanda  $D_i$  a ser designada no trecho  $i$ , ou seja,  $i = 1, 2, \dots, 106$ ;

- ii. Existem 20 setores com uma capacidade  $C_j$  disponível na mediana  $j$ , ou seja,  $j= 1, 2, \dots, 20$ ;
- iii.  $d_{ij}$  é o custo para designar um trecho de quadra  $i$  ao setor  $j$ , ou seja, a distância percorrida pelos fiscais;
- iv.  $x_{ij}$  é o número de unidades a ser enviada da origem  $i$  para o destino  $j$ . Logo  $x_{ij}$  será 1, se o trecho  $i$  for designado para o setor  $j$  e 0 caso contrário.

Então:

$$\text{Minimizar } Z = \sum_{j=1}^{20} \sum_{i=1}^{106} d_{ij} x_{ij} \quad (4.4 a)$$

Sujeito a:

$$\sum_{j=1}^{20} x_{ij} = 1 \text{ para } i = 1, 2, \dots, 106 \quad (4.4 b)$$

$$\sum_{i=1}^{106} x_{ij} D_i \leq C_j \text{ para } j = 1, 2, \dots, 20 \quad (4.4 c)$$

$$x_{ij} = 1, \text{ se o trecho } i \text{ for designado para a mediana } j$$

$$0, \text{ caso contrário} \quad (4.4 d)$$

A função objetivo (4.4 a) designa os 106 trechos de quadra aos 20 setores de forma a minimizar a distância percorrida pelos fiscais dentre os trechos de cada setor. As restrições (4.4 b) é para que cada trecho ( $i= 1, 2, \dots, 106$ ) seja designado a apenas um setor (não pode ter um trecho designado para dois setores, pois cada setor é composto por seus diferentes trechos), as restrições (4.4 c) mostram que cada setor  $j$  possui capacidade  $C_j$  que deve ser respeitada de acordo com a demanda  $D_i$  do trecho  $i$ . E por último, as restrições (4.4 d) é para que todas as variáveis sejam binárias.

Sendo assim, a modelagem para este problema é representada pela Tabela 4.4, a qual associa a distância  $d_{ij}$  de cada trecho com as medianas.

Tabela 4.4 – Matriz das distâncias

<b>Tarefa J Trabalhador i</b>	$M_1$	$M_2$	...	$M_{20}$	<b>Demanda</b>
$T_1$	$d_{11} \quad x_{11}$	$d_{12} \quad x_{12}$	...	$d_{1 \ 20} \quad x_{1 \ 20}$	$D_{T_1}$
$T_2$	$d_{21} \quad x_{21}$	$d_{22} \quad x_{22}$	...	$d_{2 \ 20} \quad x_{2 \ 20}$	$D_{T_2}$
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
$T_{106}$	$d_{106 \ 1} \quad x_{106 \ 1}$	$d_{106 \ 2} \quad x_{106 \ 2}$	...	$d_{106 \ 20} \quad x_{106 \ 20}$	$D_{T_{106}}$
Necessidades	$C_{M_1}$	$C_{M_2}$	...	$C_{M_{20}}$	$\sum C_j = \sum D_i$

Como pode-se observar, a matriz das distâncias não é quadrada (o número de trechos de quadra e medianas não são iguais), logo tem-se um Problema de Designação não Equilibrado. Neste caso, deve-se completar a matriz com uma coluna fictícia, atribuindo valores muito grandes à  $j$  para evitar a designação do trecho  $i$  a mediana  $j$ .

#### 4.6. Quinta Etapa: Determinação das 2-medianas

Dentre os setores obtidos anteriormente, pretende-se nesta etapa encontrar duas medianas dentre os 20 setores, utilizando o algoritmo que apresentar melhor resultado (Teitz & Bart ou Busca Tabu), ou seja, o menor número de transmissão. Para isto, todos os passos anteriores serão repetidos.

#### 4.7. Sexta Etapa: Formação das Áreas

De maneira análoga à quarta etapa, faz-se a designação dos 18 setores às duas medianas encontradas na quinta etapa para formar as duas áreas de fiscalização do ERR. Cada supervisor ficará responsável por uma área.

#### **4.8. Considerações**

Neste capítulo descreveu-se as etapas da metodologia utilizada para atingir as metas deste trabalho. Destacou-se a necessidade de uma saída de campo para a contagem das vagas devido a ausência destes dados e os passos dos algoritmos Teitz e Bart e Busca Tabu a serem implementados para a localização das medianas.

No Capítulo seguinte, aborda-se o aplicativo desenvolvido para operacionalizar as simulações.

## 5. OPERACIONALIZAÇÃO DO SOFTWARE

### 5.1. Considerações Iniciais

Neste capítulo descreve-se o funcionamento do programa desenvolvido que possibilita a generalização do problema em estudo, tornando-se aplicável a outras regiões e municípios que necessitam de uma ferramenta para a organização dos funcionários e elaboração de mapas do serviço de estacionamento rotativo. Além disso, apresenta-se a descrição da interface gráfica e os passos para realizar simulações.

### 5.2. Descrição do Aplicativo

O aplicativo<sup>5</sup> tem como objetivo a elaboração de mapas contendo os trajetos a serem percorridos pelos fiscais e supervisores do ERR. Tais trajetos são distribuídos em setores e áreas considerando a distância percorrida e o número de vagas atendidas, com a finalidade de minimizar o percurso e que haja um equilíbrio na distribuição do serviço realizado pelos funcionários.

Além disso, é permitido adicionar e remover novos trechos sempre que houver alterações no atual sistema, sendo possível mudar o mapa da região quando for necessário. Todo o processo realizado manualmente poderá ser informatizado garantindo a automatização do serviço.

---

<sup>5</sup> Aplicativo desenvolvido com a colaboração do aluno Tiago Buchweitz Klug integrante do projeto de iniciação científica Grafos e Algoritmos.

### 5.3. Interface Gráfica

Ao abrir o aplicativo deve-se clicar em *Carregar Região*, neste caso aparece a opção *Bairro Centro (Rio Grande/RS)* pelo fato de ser a região em estudo, mas é possível cadastrar outras regiões e municípios conforme a área que se deseja analisar. Após escolher essa opção, o mapa da área central da cidade aparece na tela inicial, de acordo com a Figura 5.1.

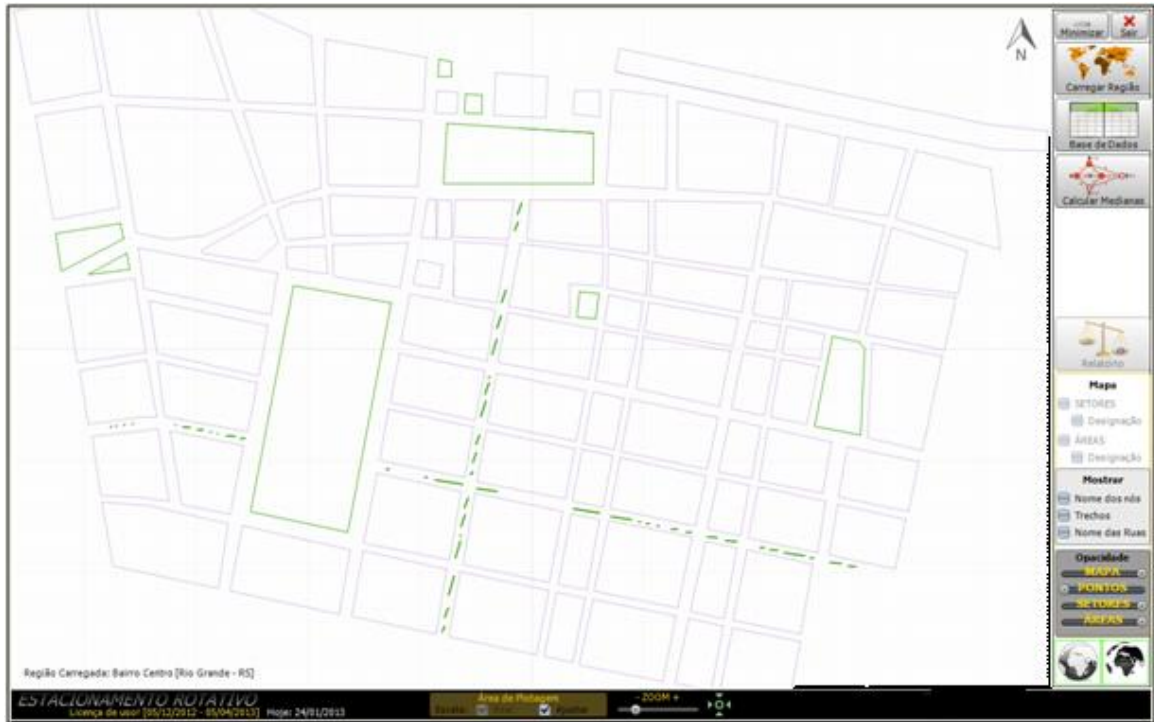


Figura 5.1 – Tela inicial do programa desenvolvido

Através da Figura 5.1, observa-se a existência do botão *Mostrar*. Ao clicar nesse botão é possível ter acesso a algumas variações no mapa, como nomes dos vértices, trechos e nome das ruas. Visualiza-se isto, respectivamente, através das Figuras 5.2 (a), 5.2 (b) e 5.2 (c).



(a) – Nome dos vértices



(b) – Trechos de quadra



(c) – Nomes das ruas

### Figura 5.2 – Variações no mapa

Na Figura 5.2 (a) cada ponto está localizado no ponto médio e representa um trecho de quadra a ser percorrido pelo fiscal do ERR. Na Figura 5.2 (b) os trechos de quadra estão destacados na cor rosa e na Figura 5.2 (c) visualiza-se o nome das ruas da região em estudo.


No botão *Opacidade*, destacado na tela inicial da Figura 5.1, tem-se a opção de esconder o mapa, os pontos, os setores e as áreas. Além disso, no botão  localizado no canto inferior (direito) da tela inicial altera-se o tema entre claro e escuro, conforme mostrado na Figura 5.3.



Figura 5.3 – Tela inicial na cor escura

Ainda na Figura 5.1, na barra de ferramentas abaixo do mapa, encontra-se a opção de *Aumento ou Diminuição do Zoom* e a possibilidade de escolher a escala da área de plotagem, sendo esta real ou ajustada. Caso o usuário queira ter acesso às informações utilizadas pelo aplicativo, deve-se buscar estes dados clicando no botão *Base de Dados*.

### 5.3.1. Base de Dados

O ícone *Base de Dados* é o local onde estão armazenadas as informações necessárias para a execução dos algoritmos. Estes dados são as coordenadas x e y, o número de vagas, a taxa de ocupação de cada trecho de quadra e as distâncias entre todos os pontos. A Figura 5.4 destaca estas informações.



TRECHO	Coord. "X" (m)	Coord. "Y" (m)	Medida(m)	Taxa	Vagas	DISTÂNCIAS [m]	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Ponto 5	
1	427955,1791	6456307,9419	92,7	2	13	Ponto 1	0	67,78110482051279	84,08038073082224	98,0669663144528	157,193735956145	
2	427915,5321	6456362,9182	98,98	3	8	Ponto 2	67,78110482051279	0	18,6935033583864	72,8937459496354	97,443985616099	
3	427914,6131	6456381,5891	111,26	3	11	Ponto 3	84,08038073082224	18,6935033583864	0	65,1715811454655	78,7938323145283	
4	427975,8837	6456403,7983	66,48	2	12	Ponto 4	98,0669663144528	72,8937459496354	65,1715811454655	0	81,8567637919435	
5	427916,7072	6456460,3551	137,4	3	9	Ponto 5	157,193735956145	97,443985616099	78,7938323145283	81,8567637919435	0	
6	427990,0592	6456478,4403	67,49	2	9	Ponto 6	174,029669248005	137,475976893492	122,769169365317	75,9761341754767	75,5485960361938	
7	427918,1746	6456528,0715	159,87	2	30	Ponto 7	223,218220171226	165,174439024747	146,525689870445	137,018861698125	67,7322972570691	
8	427916,5583	6456542,9867	169,8	2	21	Ponto 8	238,196608287524	180,071424103576	161,40932156725	151,304044161813	82,6317341568598	
9	428004,542	6456553,3979	56,27	2	6	Ponto 9	250,370413252864	210,250513459777	193,921300564559	152,319855826645	127,952783177545	
10	428047,5751	6456583,5293	55,05	1	5	Ponto 10	290,663784904071	257,108170411223	241,782418343518	193,501651659514	179,717252360618	
11	428126,5056	6456569,2643	88,54	1	8	Ponto 11	312,477465337918	295,107659486263	283,055493236379	223,754226587142	236,382280400202	
12	428046,2143	6456615,7805	51,76	1	6	Ponto 12	321,017151082306	284,635170276145	268,634487129631	223,3446807363	202,30952502433	
13	428045,0477	6456626,457	51,25	2	7	Ponto 13	330,950501123612	293,644325245355	277,440936647009	233,15302186199	209,907420363978	
14	428131,4466	6456619,5742	100,04	1	15	Ponto 14	358,02921942146	335,397336969526	321,95290733935	266,005742188435	267,327012696379	
15	428132,0926	6456631,1522	102,79	1	13	Ponto 15	368,460696015654	344,74327926016	331,027300689626	275,846001030321	274,886376347701	
16	428068,9388	6456654,122	50,78	2	7	(DISTÂNCIAS x Fator)[m]	Ponto 1	0	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Ponto 5
17	428078,6747	6456657,3216	52,67	1	7	Ponto 1	0	91,5044915076991	113,50851398661	132,390404524511	212,211543540795	
18	428134,3127	6456682,1043	115,36	1	13	Ponto 2	91,5044915076991	0	25,2362295338216	98,4065570320078	131,549380643173	
19	428134,6995	6456695,9725	117,47	1	15	Ponto 3	113,50851398661	25,2362295338216	0	87,9816345463784	106,371673624613	
20	428202,768	6456653,0185	51,41	1	8	Ponto 4	132,390404524511	98,4065570320078	87,9816345463784	0	110,506631119124	
21	428196,4017	6456738,6246	86,55	1	8	Ponto 5	212,211543540795	131,549380643173	106,371673624613	110,506631119124	0	
22	428135,5928	6456785,8829	127,8	3	17	Ponto 6	234,940053484807	185,592568806215	165,738378643179	102,567781136894	101,990604648862	
23	428214,1289	6456739,288	83,28	1	25	Ponto 7	301,344597231156	222,985492683409	197,809681325101	184,975463292469	91,4386012970433	
24	428230,2033	6456738,5378	79,4	1	22	Ponto 8	321,565421188157	243,096422539828	217,902584115788	204,260459618448	111,552841111761	
25	428136,0547	6456797,769	130,52	3	20	Ponto 9	338,000057891367	283,838193170699	261,793755762154	205,631805365971	172,736257289686	
26	428203,5022	6456830,2643	70,99	3	4	Ponto 10	392,396109620496	347,09603005516	326,406264763749	261,227229740345	242,618290686834	
27	428217,9464	6456806,658	28,9	3	6	Ponto 11	421,84457820619	398,395340306454	382,124915869112	302,068205892641	319,116078540273	
28	428363,7533	6456812,6898	54,96	2	13	Ponto 12	433,373153961113	384,257479872795	362,656557628002	301,515318994006	273,117858782845	
29	428328,2774	6456787,3207	68,02	2	9	Ponto 13	446,783176516876	396,419839081229	374,545264473463	314,757227951369	283,375017491371	
30	428399,922	6456806,2278	31,08	2	3	Ponto 14	483,339446218971	452,78640490886	434,636424908122	359,107751954387	360,891467140112	
31	428417,5166	6456821,7371	32,61	2	6	Ponto 15	497,421939621133	465,403427630121	446,886855930995	372,392101390934	371,096608069396	
32	428416,5391	6456788,6856	35,42	2	6							
33	428377,2286	6456768,8729	96,98	2	8							

Figura 5.4 – Base de dados

Ressalta-se que estes dados foram obtidos nas etapas I e II do Capítulo IV e durante a implementação. Os mesmos encontram-se completos nos Apêndices A, C e E e permitem o funcionamento dos algoritmos, além de contribuir para a precisão dos resultados.

### 5.3.2. Cálculo de Medianas

Ao selecionar a opção *Calcular Medianas* representada na Figura 5.1, aparece a seguinte tela.

**Cálculo dos Setores**

Algoritmo "Teitz & Bart"

Algoritmo "Busca Tabú"

**Cálculo das Áreas**

"Teitz & Bart"

"Busca Tabú"

Usar menor função objetivo

Definir após Setores calculado

Salvar Solução

SETORES

ÁREAS

Fator de Correção

CICLOS

Usar SOLUÇÃO SALVA

Estabilidade

Busca Tabú Iteração Máxima

Tempo Tabú Setores

Tempo Tabú Áreas

Figura 5.5 – Alternativas para o cálculo de medianas

Analisando a Figura 5.5, observa-se que o cálculo de medianas é composto por duas entradas principais, sendo elas, o número de *setores* e o número de *áreas*, as quais poderão ser modificadas de acordo com o interesse do usuário e a região em estudo. Nesta pesquisa, estabeleceu-se o fator de correção como 1,35, conforme descrito no Capítulo IV, porém este é um valor que pode ser alterado conforme as características da cidade que o aplicativo será utilizado.

Para determinar os setores, escolhe-se o *algoritmo Teitz & Bart* e /ou *Busca Tabu*. Ao optar pelo último, o usuário pode ajustar os seguintes parâmetros:

- i. *Tempo Tabu*: número de iterações que o vértice permanece como tabu, ou seja, fica proibido de entrar na solução;
- ii. *Iteração Máxima*: número máximo de iterações, isto é, mesmo que uma função objetivo não alcance estabilidade em 252 iterações e ainda que esteja ocorrendo diminuição na função objetivo, o software irá suspender os cálculos nesta 252ª iteração;
- iii. *Estabilidade*: número máximo de iterações sem melhoria na solução, por exemplo, se uma função objetivo ficar estável por um número de iterações (alcançar estabilidade), ocorre a parada.

Ainda na Figura 5.5, tem-se como alternativa, para encontrar as áreas, uma nova simulação utilizando os algoritmos *Teitz & Bart* e/ou *Busca Tabu*. Ao escolher *Usar a menor função objetivo*, significa optar pelo método que forneceu a melhor solução para os setores. A opção *Definir após Setores Calculados*, significa que inicialmente o aplicativo define as medianas e, posteriormente, faz o cálculo das áreas, podendo escolher dentre os métodos. Há também a possibilidade de *Salvar Solução*, a qual fica armazenada na pasta `\Soluções\` que contém relatórios completos de todas as soluções salvas ao longo do processo de simulação.

Por fim, o botão *Ciclos* significa quantas simulações o usuário deseja realizar, sendo que cada ciclo gera uma solução através do relatório e *Usar Solução Salva* permite ao usuário salvar uma solução para ser usada posteriormente, a qual fica armazenada na pasta `\Soluções\`.

### 5.3.3. Relatório

O usuário terá acesso aos resultados, clicando em *Relatório*, conforme a Figura 5.1. A seguir aparecerá o resumo de todas as soluções de uma simulação, incluindo as opções que foram selecionadas anteriormente e os parâmetros escolhidos, além disso, há a opção de copiar e/ou imprimir tais resultados. Fazem parte do resumo, os resultados dos algoritmos para os setores e áreas (solução inicial e final, tempo de cálculo, total de iterações, reduções na função objetivo), conforme um exemplo representado na Figura 5.6.

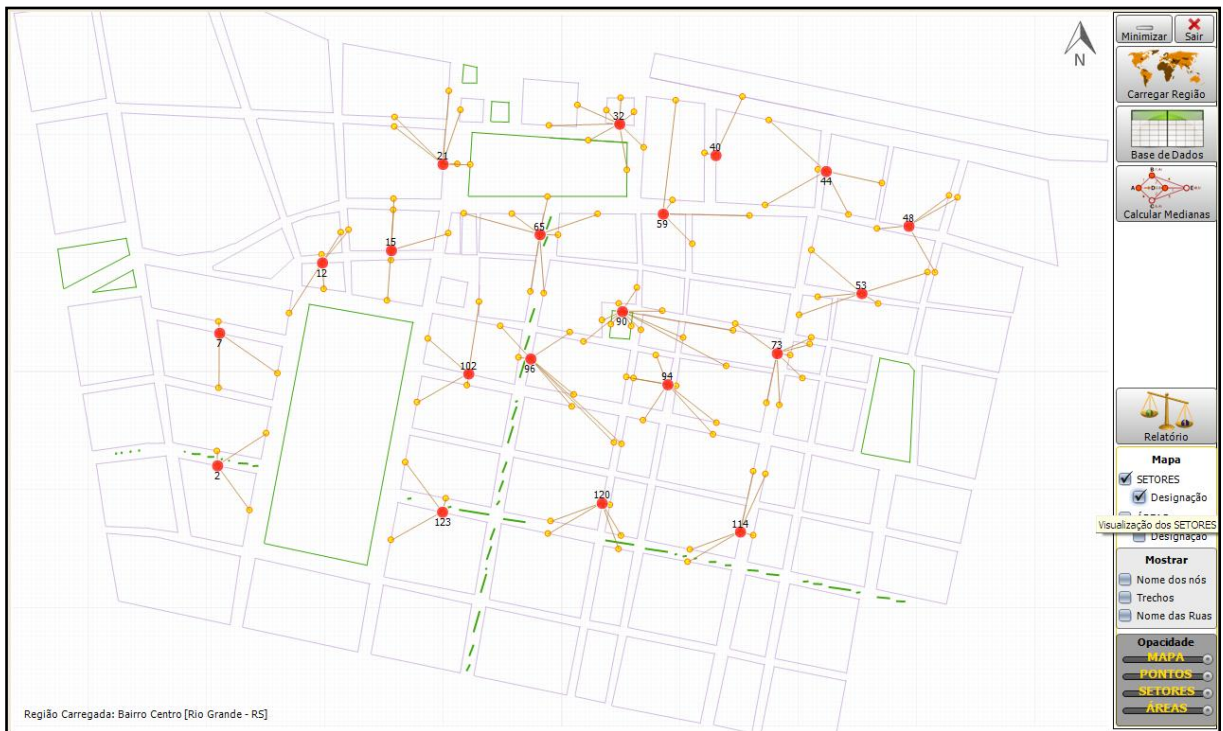


Figura 5.6 – Resumo de uma solução

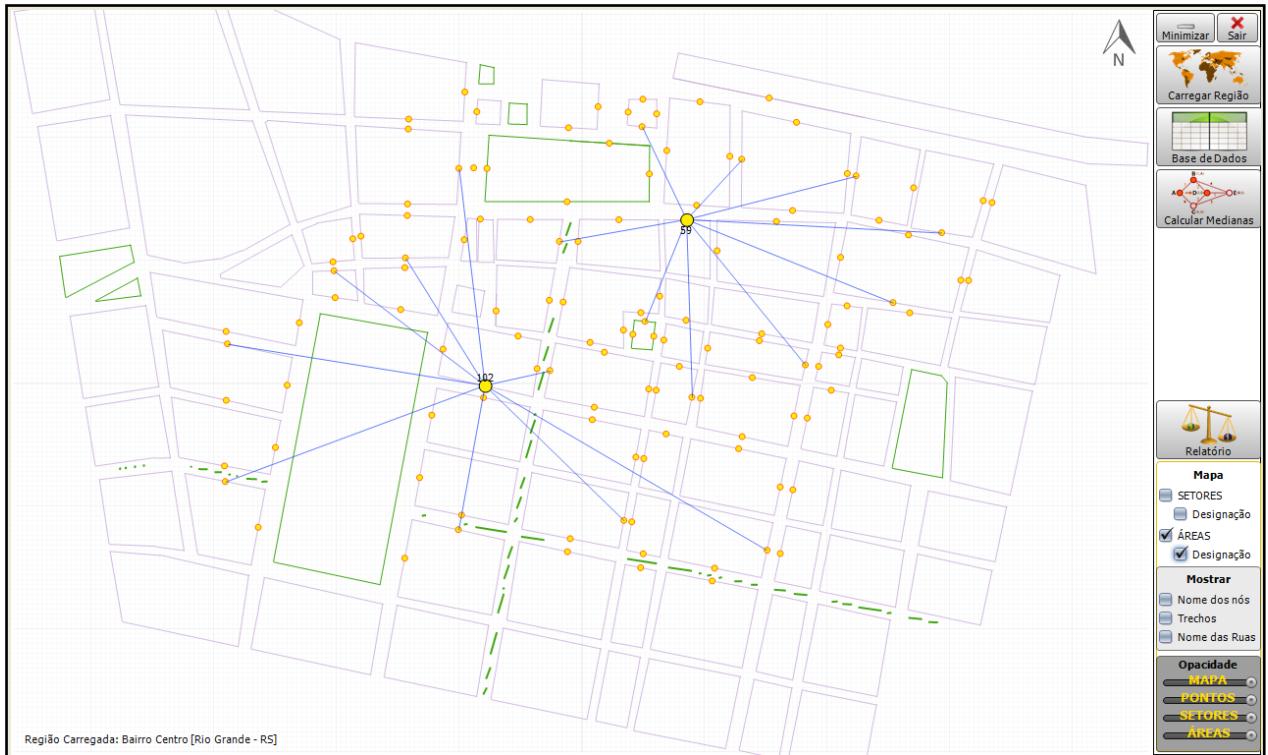
Conforme a Figura 5.6, ao visualizar o arquivo *Relatório*, o usuário tem acesso aos gráficos contendo as funções objetivo, tempo de cálculo e o número de iterações de cada ciclo simulado. Caso o usuário opte por maiores detalhes nas soluções, basta salvá-la e vê-la na pasta *\Soluções Salvas\*, a qual aparece em um documento de texto contendo o resumo anterior e a descrição da designação mostrando o cálculo da capacidade das medianas e quais trechos de quadra foram designados às respectivas medianas.

## 5.4. Telas de Imagens

A visualização dos setores e áreas no mapa torna-se possível após o término do cálculo das medianas. Ao clicar *Mapa* na tela representada na Figura 5.1, tem-se a opção de mostrar somente as medianas referentes aos setores e/ou áreas e, ainda a designação dos pontos às medianas. As Figuras 5.7 (a) e 5.7 (b) mostram as imagens de uma solução.



(a) – Setores



(b) – Áreas

**Figura 5.7 – Imagens de uma solução**

Na Figura 5.7 (a), os pontos na cor vermelha representam as medianas que, juntamente com os traçados em marrom, formam os setores com seus trechos de quadra designados. A Figura 5.7 (b) é composta por duas medianas representadas pela cor amarela, as quais formam as áreas ligando seus setores na cor azul.

Caso o usuário deseje cancelar o processo, basta selecionar a opção *Cancelar* (ver Figura 5.5).

## 5.5. Considerações Finais

Durante as simulações são efetuados os registros de todos os resultados obtidos pelos algoritmos e, após o término da simulação, o aplicativo apresenta os gráficos contendo os ciclos, função objetivo, tempo computacional e o número de iterações dos mesmos. O próximo capítulo analisa os resultados obtidos.

## 6. ANÁLISE DOS RESULTADOS

### 6.1. Introdução

Neste capítulo faz-se a análise dos resultados referentes a formação dos novos setores e áreas do estacionamento rotativo de Rio Grande, atendendo as etapas da metodologia proposta. Para isto, foram utilizados os algoritmos de Teitz & Bart e Busca Tabu e a partir da comparação dos resultados destes métodos, escolheu-se o algoritmo que obteve o menor número de transmissão.

Ambos algoritmos foram implementados e desenvolvidos em linguagem Pascal Gráfica orientada a objetos, pelo fato de existirem objetos gráficos, com suas propriedades manipuladas pela programação. Utilizou-se o computador Intel(R) Core 2 Duo, CPU T6600, 2.20GHz, 4 GB de memória RAM e Sistema Operacional Windows 7 Home Premium. O pseudocódigo do software encontra-se no Apêndice D.

### 6.2. Experimentos Computacionais

No Capítulo IV foram apresentadas as etapas da metodologia proposta e, na primeira delas, foi realizada a saída de campo para a contagem do número de vagas das ruas pertencentes ao ERR. Na segunda etapa fez-se o cadastramento dos 126 pontos, a obtenção das coordenadas e, ainda, a taxa de ocupação de cada trecho de quadra.

A seguir, encontram-se os resultados e análise das etapas três, quatro, cinco e seis, as quais tratam, respectivamente, sobre a localização das 20-medianas; a designação dos trechos de quadra a estas medianas para obter os setores; a definição de duas medianas e a designação dos setores às duas medianas, formando-se as áreas do serviço de estacionamento rotativo.

## 6.2.1. Definição das 20-medianas

### 6.2.1.1. Resultados e Análise do Algoritmo Teitz & Bart (Método I)

A finalidade de implementar o algoritmo Teitz & Bart é definir a localização das 20 medianas que formarão os novos setores a serem fiscalizados. Num primeiro momento, o algoritmo gera uma solução inicial aleatória e o número de transmissão desta solução.

Salienta-se que neste método não há critério de parada. O algoritmo faz uma busca progressiva de soluções alternativas, ao substituir todos os demais pontos, que não fazem parte da solução inicial, averiguando sua eficácia na condição de mediana. Sempre que ocorrer uma redução na função objetivo, o processo é reiniciado assumindo-se a nova solução (a função objetivo) como a solução inicial.

Foi obtido o conjunto de soluções ou medianas finais, a partir dos 126 trechos de quadra, que minimiza a soma das distâncias, dos 106 pontos em relação a seu vértice mais próximo.

Realizou-se vários ciclos<sup>6</sup> com o objetivo de encontrar o menor número de transmissão, sendo que os resultados apresentados na Tabela 6.1 foram selecionados dentre os 10 melhores resultados obtidos nas simulações realizadas.

Tabela 6.1– Resultados obtidos pelo Método I

Ciclo	Nº de transmissão (m)	Tempo computacional (s)	Reduções na função objetivo	Nº de iterações
1	7556,62942	2,4	140	71900
2	7552,82931	2,4	133	78120
3	7547,62293	2,3	110	79380
4	7544,13508	1,9	113	67600
<b>5</b>	7561,95125	2,0	97	67500
6	7547,01030	2,7	116	92820
7	7546,38275	2,2	101	76660
8	7553,72393	2,1	85	73780
<b>9</b>	<b>7542,59678</b>	<b>2,3</b>	<b>102</b>	<b>76540</b>
10	7560,41790	2,6	90	81780

Analisando a Tabela 6.1, nota-se que o Algoritmo de Teitz & Bart gerou soluções com números de transmissões muito próximos, porém o ciclo 9 resultou no menor valor e, por esta

<sup>6</sup> Testes computacionais ou simulações.

razão, será utilizado pois considera-se a menor distância que o fiscal irá percorrer. Além disso, nos 10 ciclos realizados, o tempo computacional ficou entre 1,9 e 2,6 segundos.

Em cada ciclo o algoritmo determinou o conjunto de 20-medianas, os quais encontram-se na Tabela 6.2.

Tabela 6.2 – Medianas de cada ciclo

Ciclo	Conjunto de Medianas
1	[32-48-21-96-90-73-123-94-44-53-2-12-114-120-7-102-15-65-59-40]
2	[65-123-2-21-73-48-120-12-7-94-102-32-90-96-15-53-114-44-59-40]
3	[21-73-114-65-96-123-53-7-40-90-2-120-32-102-94-59-44-15-12-48]
4	[32-120-96-7-114-2-15-102-65-23-73-90-44-123-48-94-40-12-53-59]
5	[7-32-65-123-15-48-90-2-44-114-21-53-12-96-94-40-102-120-74-59]
6	[73-2-23-53-96-32-90-48-114-7-12-44-123-120-94-102-65-15-40-39]
7	[123-65-2-96-94-90-48-120-114-44-73-15-32-102-12-40-59-53-21-7]
8	[123-21-96-73-120-90-2-114-65-12-48-102-32-7-59-94-53-15-40-42]
<b>9</b>	<b>[114-120-21-7-12-65-15-44-2-73-32-123-94-102-40-53-48-59-90-96]</b>
10	[7-114-96-120-21-94-44-48-53-15-40-2-59-65-32-73-12-90-102-123]

Ao observar a Tabela 6.2, destaca-se no ciclo 9, o conjunto das 20-medianas definidas pelo Método I. Nota-se que houve poucas variações nas medianas de cada ciclo. A seguir apresenta-se no mapa da Figura 6.1, a localização dessas medianas.

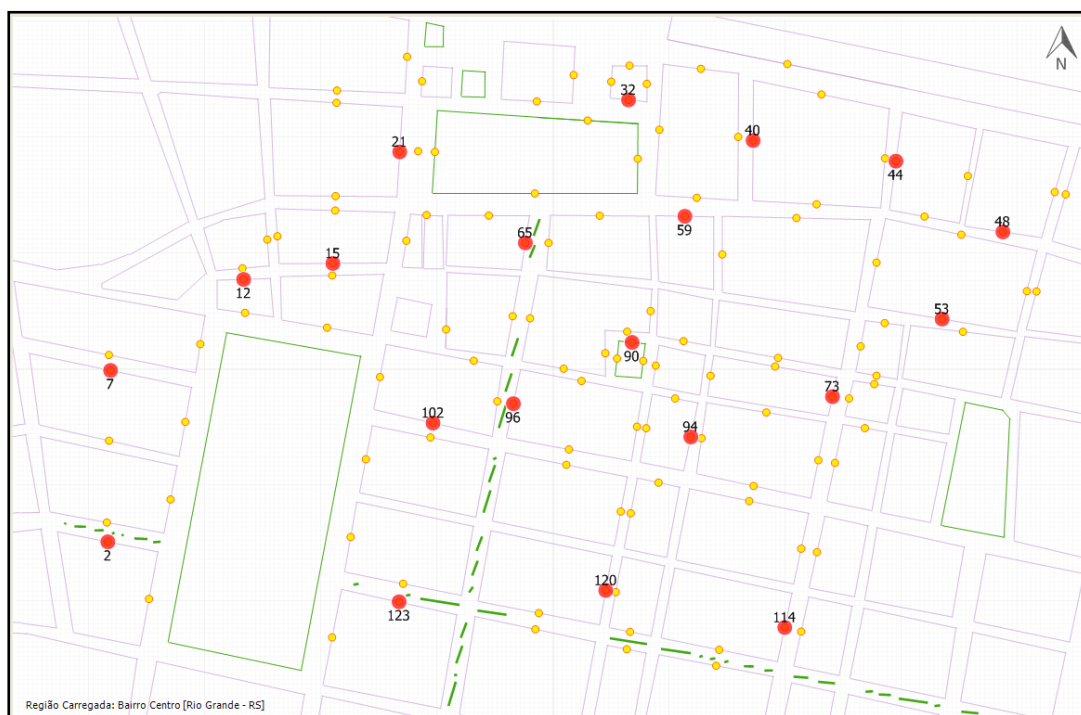


Figura 6.1 – Conjunto de medianas do Método I



Para encontrar maior precisão nos resultados, além deste mapa, analisou-se as demais soluções obtidas pelo algoritmo Teitz & Bart e concluiu-se que outros mapas tiveram soluções aproximadas, com variações (diferenças) de 3 a 5 pontos. Isto aponta para o fato de que, mesmo aumentando o número de ciclos, o resultado do algoritmo não se distanciará do apresentado na Figura 6.1 e a localização das medianas se manterá quase a mesma.

#### **6.2.1.2. Resultados e Análise do Algoritmo Busca Tabu (Método II)**

Este método tem como objetivo localizar 20-medianas através da metaheurística Busca Tabu. Na inicialização do algoritmo, define-se o Tempo Tabu, o qual significa que quando um vértice passa a fazer parte da solução, ele permanecerá na lista tabu por um determinado número de iterações, ficando proibido de entrar na solução.

Com relação ao número Máximo de Iterações, este é fixado como o dobro do número de vértices do problema, conforme Horner (2009). Neste caso, tem-se 252 iterações.

Outro parâmetro a ser definido é a Estabilidade, também conhecida como critério de parada e corresponde ao número máximo de iterações sem melhoria.

Além disso, o Busca Tabu foi implementado utilizando, em cada ciclo, a mesma solução inicial do Método I, pois tem-se como objetivo comparar os resultados obtidos entre os dois algoritmos. Da mesma forma, foram realizados diversos ciclos variando os parâmetros utilizados. A Tabela 6.3 representa as melhores soluções dentre as testadas.

Tabela 6.3- Resultados obtidos pelo Método II

Ciclo	Tempo Tabu (iterações)	Estabilidade (iterações)	Nº de transmissão (m)	Tempo computacional (s)	Total de Iterações	Melhor Iteração
1	5	10	7653,98779	1,1	48	38
2		20	7636,44111	1,6	53	33
3		40	7615,13282	2,8	128	88
4		70	7624,81136	3,3	117	47
5		100	7626,53037	4,3	149	49
6	20	10	7660,44796	0,9	30	20
7		20	7649,82886	1,2	42	22
8		40	7626,08712	2,4	95	55
9		70	7605,24144	4,5	153	83
10		100	7611,11563	5,7	207	107
11	50	10	7629,14615	1,4	54	44
12		20	7625,05300	1,6	73	53
13		40	7598,75050	3,7	135	95
14		70	7614,03450	7,1	252	245
<b>15</b>		<b>100</b>	<b>7586,29547</b>	<b>5,9</b>	<b>213</b>	<b>113</b>

Conforme o exposto na Tabela 6.3, observa-se que dentre as 15 simulações do algoritmo BT, fez-se algumas variações nos parâmetros apresentados. Nota-se que ao fixar o Tempo Tabu igual a 5 iterações com uma variação da Estabilidade entre 10 e 100, os tempos computacionais aumentam e o número de transmissão se mantém estável, não tendo melhora significativa. O mesmo aconteceu com o Tempo Tabu igual a 20 e 50, pois quanto maior a Estabilidade, maior é a tentativa de melhorar a solução e por isto o tempo computacional torna-se maior.

Além disso, observa-se no ciclo 14 que o total de iterações é igual a 252, atingindo o critério de Iteração Máxima. Esse critério quer dizer que mesmo ocorrendo um decréscimo na função objetivo e se a mesma não atinge a estabilidade em 252 iterações o aplicativo pára.

Salienta-se ainda que o ciclo 15 obteve o menor valor do número de transmissão entre os resultados testados e que o mesmo se manteve estável por 100 iterações sucessivas a partir da iteração 113. Por esta razão, o algoritmo parou na iteração 213 atendendo o critério de Estabilidade.

Após a análise, é importante destacar as medianas encontradas em cada um dos ciclos do Método II, conforme a Tabela 6.4.

Tabela 6.4 – Medianas de cada ciclo

Ciclo	Conjunto de Medianas
1	[74-79-44-124-7-86-32-66-119-114-2-24-102-59-25-40-107-48-13-15]
2	[32-66-86-74-21-124-120-8-114-3-94-40-48-53-15-107-102-44-13-100]
3	[120-73-86-114-124-48-21-2-7-32-66-44-94-53-107-13-102-100-40-15]
4	[2-74-65-32-7-24-90-102-124-114-40-120-49-94-15-107-13-22-52-59]
5	[2-32-94-48-65-21-86-124-102-114-74-13-107-15-42-55-40-7-59-120]
6	[49-65-71-124-86-21-120-40-3-7-32-114-67-93-59-52-102-77-15-13]
7	[74-124-66-119-32-90-8-23-79-3-48-40-114-13-44-59-53-15-102-109]
8	[86-124-32-74-94-120-2-114-39-40-66-12-52-7-49-15-23-107-102-100]
9	[65-3-74-120-86-21-32-123-114-7-104-53-79-48-100-44-40-107-13-15]
10	[120-3-90-74-79-32-124-102-23-65-53-48-13-15-44-107-114-40-8-59]
11	[32-3-94-90-13-74-40-48-124-114-15-23-65-7-53-102-42-109-120-59]
12	[90-12-74-120-32-49-3-123-114-8-15-65-94-40-51-23-102-59-96-47]
13	[86-49-40-32-73-2-124-120-94-7-65-102-51-22-13-107-23-15-114-59]
14	[90-124-32-3-65-7-74-94-114-40-23-107-102-120-51-59-49-47-13-14]
<b>15</b>	<b>[48-86-23-32-114-3-123-74-7-15-65-94-120-44-40-53-102-107-13-59]</b>

O conjunto de medianas do ciclo 15 pode ser visualizado no mapa da Figura 6.2.

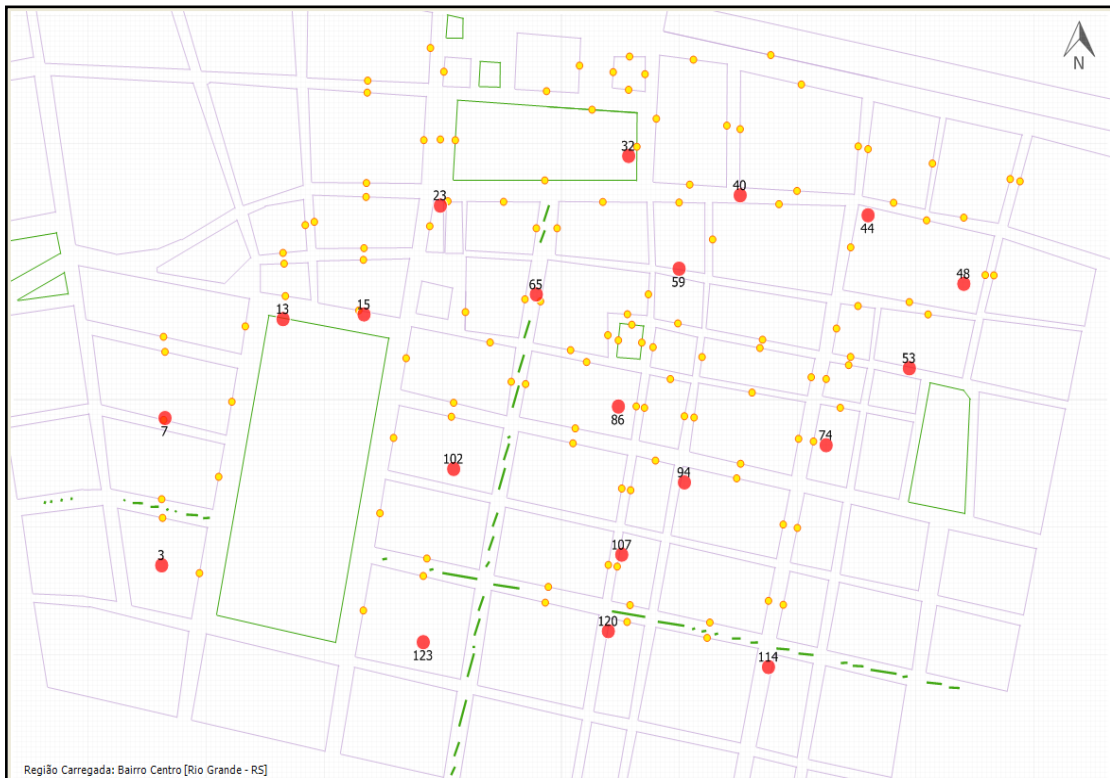


Figura 6.2 – Conjunto de medianas do Método II

Também foram analisadas outras soluções encontradas pelo algoritmo Busca Tabu e através dos mapas notou-se que a localização de alguns pontos foi semelhante ao exposto na Figura 6.2.

### 6.2.1.3. Comparação entre os Métodos I e II

Conforme visto anteriormente, implementou-se os algoritmos de Teitz & Bart e Busca Tabu e fez-se vários testes com a finalidade de encontrar o conjunto de medianas com o menor número de transmissão de cada método. A Tabela 6.5 destaca estas duas soluções e seus valores.

Tabela 6.5 – Comparação das soluções

Métodos	Melhor ciclo	Nº de transmissão
I - Teitz & Bart	Ciclo 9	7542,59678 m
II - Busca Tabu	Ciclo 15	7586,29547 m

Neste caso, faz-se a escolha pelo Método I pois obteve a menor distância a ser percorrida pelo fiscal, mas ressalta-se que o Método II também pode ser utilizado, pois ambos apresentam soluções de qualidade e uma diferença insignificativa de aproximadamente 44 metros de distância.

Portanto, define-se o Método I como aquele que obtém o melhor conjunto de 20 medianas a ser utilizado na próxima etapa.

### 6.2.2. Formação dos Setores

Com a finalidade de formar os novos setores do ERR de Rio Grande, utiliza-se o conjunto de medianas do Método I, as quais representam os trechos de quadra [114-120-21-7-12-65-15-44-2-73-32-123-94-102-40-53-48-59-90-96].

Para a formação dos setores é necessário calcular a demanda de cada trecho de quadra, calculada pelo produto entre o número de vagas e a taxa de ocupação destes pontos. Da mesma forma, precisa-se da capacidade das medianas conforme descrito no Capítulo IV. Os trechos de quadra são igualmente distribuídos em torno dessa capacidade calculada.

Dentre todas as simulações, fez-se alguns testes alterando as taxas média e baixa de ocupação entre 80% - 60% e 40% - 30%. Devido a esse motivo foram analisados dois cenários correspondendo as melhores soluções encontradas nos testes realizados.

Posteriormente, fez-se a implementação do PD, descrito nos Capítulos II e IV, o qual designa os 106 trechos de quadra às 20 medianas de forma a minimizar a distância percorrida pelos fiscais. Enquanto houver disponibilidade em uma mediana, novos pontos poderão ser designados à mesma, obedecendo à restrição (4.4.c), ou seja, a soma das demandas dos pontos que serão designados a uma mediana não pode ultrapassar a capacidade da mesma.

Para a resolução do PD, optou-se pelo Método Húngaro Modificado descrito a seguir:

- i. Calcular a capacidade das medianas pela fórmula (4.4) conforme Capítulo IV;
- ii. Executar o Método Húngaro de acordo com os passos citados no Capítulo II;
- iii. Realocar pontos de medianas com capacidade excedida, de menor demanda, em medianas mais próximas com capacidade menor que a capacidade máxima.

#### **6.2.2.1. Cenário I**

Neste cenário utiliza-se taxas de ocupação de 100% para alta, 60% para média e 30% para baixa ocupação. Com isto, obteve-se a estimativa da demanda de cada ponto (ver Apêndice E. 1) e a capacidade máxima dos setores de 66,0371. A Figura 6.3 representa o mapa com os 106 trechos de quadra designados às 20 medianas formando os setores do ERR.

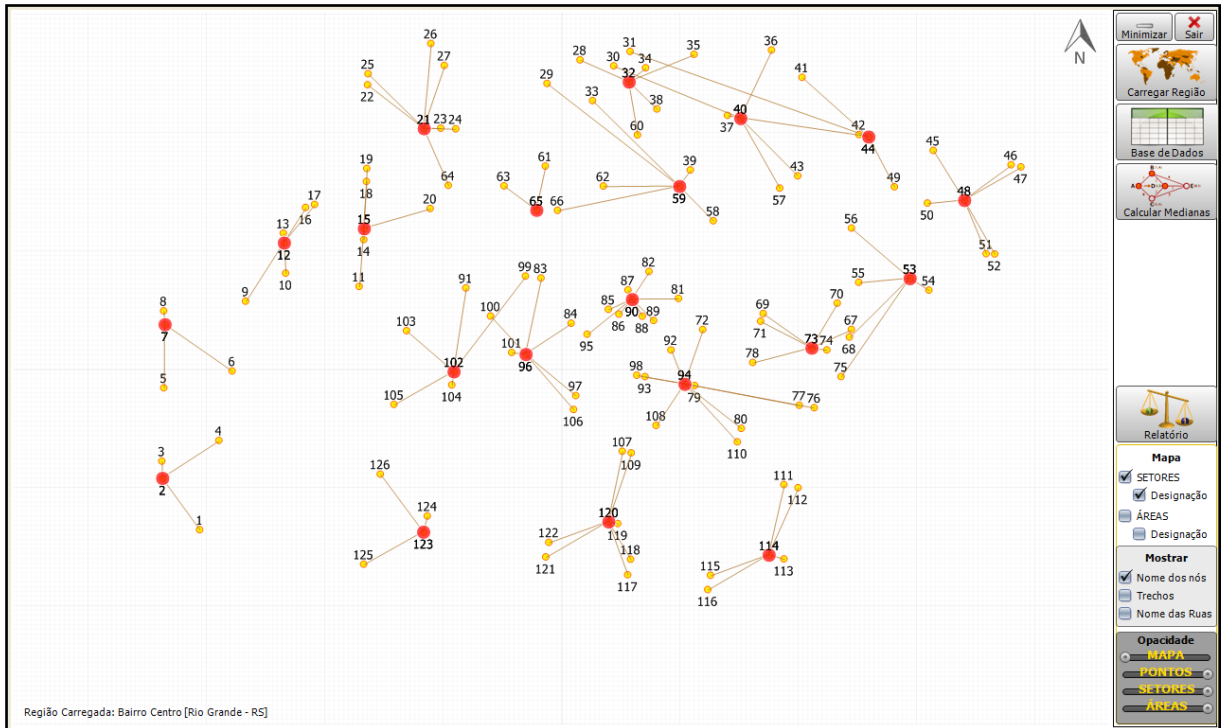


Figura 6.3 – Designação dos trechos de quadra às medianas (cenário I)

Através da Figura 6.3, construiu-se a Tabela 6.6 contendo os trechos de quadra que foram atribuídos a cada mediana, o número de trechos atendidos e, ainda, a demanda acumulada em cada setor.

Tabela 6.6 – Formação dos setores (cenário I)

Setores	Ponto (Mediana)	Trechos designados	Vagas atendidas	Trechos atendidos	Demanda <sup>7</sup>
1	2	01-02-03-04	21	04	18,30
2	7	05-06-07-08	39	04	20,70
3	12	09-10-12-13-16-17	32	06	26
4	15	11-14-15-18-19-20	72	06	59
5	21	21-22-23-24-25-26-27-64	73	08	65,10
6	32	28-32-34-35-38-60	70	06	66
7	40	30-36-40-43-57	81	05	65,80
8	44	31-37-41-42-44-49	60	06	54,10
9	48	45-46-47-48-50-51-52	41	07	37,90
10	53	53-54-55-56-68-75	28	06	21,60
11	59	29-33-39-58-59-62-66	74	07	65,20
12	65	61-63-65	75	03	66,0
13	73	67-69-70-71-73-74-78	69	07	65,60
14	90	81-82-85-86-87-88-89-90-95	70	09	63,00
15	94	72-76-77-79-80-92-93-94-98-108-110	74	11	64,50
16	96	83-84-96-97-100-101-106	75	07	65,20
17	102	91-99-102-103-104-105	61	06	49,0
18	114	111-112-113-114-115-116	20	06	16,80
19	120	107-109-117-118-119-120-121-122	37	08	30,60
20	123	123-124-125-126	40	04	31,40

É importante ressaltar que o número de vagas de cada setor foi calculado com base na porcentagem de ocupação dos trechos de quadra e por isso, são consideradas (atendidas) apenas as vagas ocupadas de acordo com a taxa de ocupação. Por exemplo, o setor 1 é composto pelos trechos [01-02-03-04], possuem taxas de ocupação 60%, 30%, 30% e 60% e número de vagas 13, 08, 11 e 12, respectivamente. Desta forma, o fiscal não irá atender todas as vagas num trecho que não é ocupado 100%, garantindo uma uniformidade no serviço.

Desta forma, ao observar a Tabela 6.5, nota-se que a distribuição das vagas atendidas pelos fiscais foi boa e que a taxa de ocupação dos trechos de quadra foi respeitada. Além disso, obteve-se a média de 71 vagas atendidas em 12 setores [04-05-06-07-08-11-12-13-14-15-16-17] e a média de 32 vagas nos setores restantes [01- 02-03-09-10-18-19-20], isto deve-se ao fato da localização destes últimos estarem nas extremidades da região e não haver pontos próximos para serem designados a estes setores.

<sup>7</sup> Esta demanda está relacionada aos trechos de quadra que foram designados às medianas, ou seja, é o valor que não pode ultrapassar a capacidade da mediana.

Com relação ao número de trechos de quadra por setor, este variou de 03 a 11, porém isto não sobrecarrega os funcionários pois as vagas estão distribuídas com pouca discrepância entre os setores. Um exemplo disto é o setor 12, contendo 03 trechos e 75 vagas e o setor 15, com 11 trechos e um total de 74 vagas.

Salienta-se que, embora não tenha analisado cenários em que o número de p-medianas fosse menor que 20, seria pertinente considerar a diminuição do número de funcionários. Neste caso, poderiam-se obter soluções em que alguns setores ficassem unidos e talvez o número de vagas se equivalesse as demais.

Vale mencionar que nesta pesquisa priorizou-se o estudo de caso realizado na cidade de Rio Grande, por esta razão, não foi considerada a redução dos funcionários da empresa. Mas caso, o aplicativo seja utilizado em outras regiões, é possível esta variação do número de medianas, cabendo ao tomador de decisão analisar o problema real e a quantidade de setores desejado.

#### **6.2.2.2. Cenário II**

Para a simulação deste cenário, as taxas utilizadas foram de 100% para alta ocupação, 80% para média e 40% para baixa ocupação. De maneira análoga ao cenário I, calculou-se a demanda de cada ponto (ver Apêndice E.2) e obteve-se a capacidade de cada mediana igual a 73,1513. A Figura 6.4 mostra o mapa destacando a designação dos trechos de quadra às medianas.



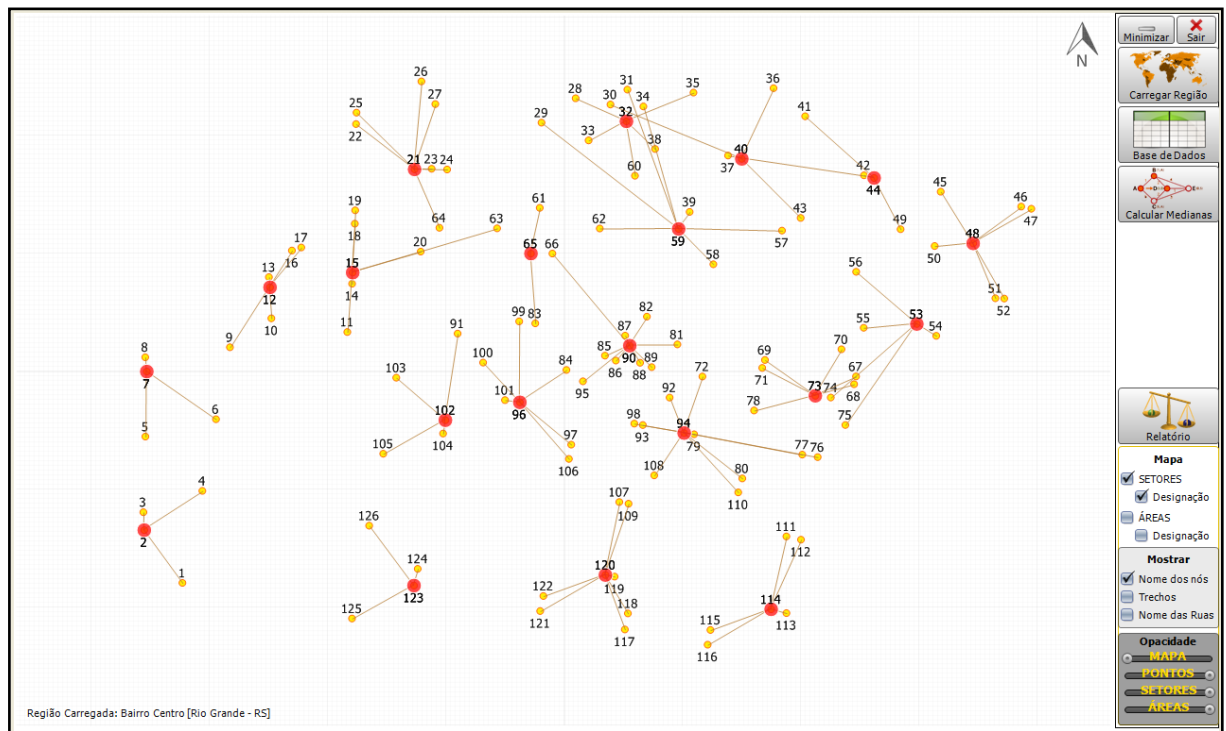


Figura 6.4 – Designação dos trechos de quadra às medianas (cenário II)

Ao analisar a Figura 6.4, construiu-se a Tabela 6.7 contendo os trechos designados, o número de vagas, a quantidade de trechos atendidos e a demanda acumulada em cada setor.

Tabela 6.7 – Formação dos setores (cenário II)

<b>Setores</b>	<b>Ponto (Mediana)</b>	<b>Trechos Designados</b>	<b>Vagas atendidas</b>	<b>Trechos atendidos</b>	<b>Demanda<sup>8</sup></b>
1	2	01-02-03-04	28	04	24,40
2	7	05-06-07-08	52	04	27,60
3	12	09-10-12-13-16-17	36	06	30
4	15	11-14-15-18-19-20-63	83	07	70
5	21	21-22-23-24-25-26-27-64	78	08	69,80
6	32	28-32-33-35-38-60	78	06	72,80
7	40	30-36-40-43	88	04	72,40
8	44	37-41-42-44-49	62	05	54,10
9	48	45-46-47-48-50-51-52	48	07	44,20
10	53	53-54-55-56-74-75	36	06	28
11	59	29-31-34-39-57-58-59-62	82	08	72,60
12	65	61-65-83	77	03	68,0
13	73	67-68-69-70-71-73-78	75	07	70,60
14	90	66-81-82-85-86-87-88-89-90-95	79	10	72
15	94	72-76-77-79-80-92-93-94-98-108-110	79	11	70
16	96	84-96-97-99-100-101-106	79	07	68,60
17	102	91-102-103-104-105	51	05	39,0
18	114	111-112-113-114-115-116	26	06	22,40
19	120	107-109-117-118-119-120-121-122	49	08	40,80
20	123	123-124-125-126	47	04	34,20

De maneira semelhante ao cenário I, o número de vagas dos setores foi calculado de acordo com a porcentagem de ocupação dos trechos de quadra, sendo consideradas apenas as vagas ocupadas conforme as taxas de ocupação (100%, 80% e 40%).

Analisando a Tabela 6.7, destaca-se o mesmo número de vagas nos setores 5 e 6 (78 vagas), nos setores 14, 15 e 16 (79 vagas) e outros com vagas muito próximas (75, 77, 82, 83 e 88 vagas). Em razão disso, a média de vagas em 11 setores foi de 78, resultando numa homogeneidade na distribuição das vagas a serem atendidas pelos fiscais.

Pelo mesmo motivo do cenário I, alguns pontos localizados nas extremidades, obtiveram uma média de 41 vagas, mas com demanda inferior a capacidade de 73,1513. Ou seja, a diminuição no número de vagas deu-se por não existirem pontos ao redor. Para amenizar esta situação, caberia variar o número de medianas e analisar cenários com uma redução do número de setores.

<sup>8</sup> Esta demanda está relacionada aos trechos de quadra que foram designados às medianas, ou seja, é o valor que não deve ultrapassar a capacidade da mediana.

Além disso, o número de trechos de quadra por setor variou de 03 a 11, mas isso não irá interferir no serviço dos funcionários pois o fiscal responsável pelo setor 12, atenderá 03 trechos de quadra e 77 vagas e o fiscal do setor 15, terá 11 trechos de quadra e 79 vagas, havendo uma diferença insignificante.

Logo, em ambos os cenários, os métodos de solução e designação mostraram-se eficazes na distribuição dos pontos às medianas, lembrando que após ter atendido as restrições de que cada ponto seja designado a apenas uma mediana e que a demanda não poderia ultrapassar a capacidade das medianas, o algoritmo minimizou a distância percorrida pelos funcionários do serviço de estacionamento rotativo.

### **6.2.3. Determinação das 2-medianas**

Finalmente, após a formação dos 20 setores que farão parte da nova proposta de organização do sistema de estacionamento rotativo, parte-se para a determinação de duas medianas dentre os 20 setores.

É importante destacar que não houve muitas simulações para encontrar as duas medianas dentre os setores, porque as áreas foram calculadas uma única vez pelo Método I (Teitz & Bart) que apresentou o melhor resultado mediante a comparação realizada anteriormente. As duas medianas podem ser vistas na cor amarela no mapa da Figura 6.5.

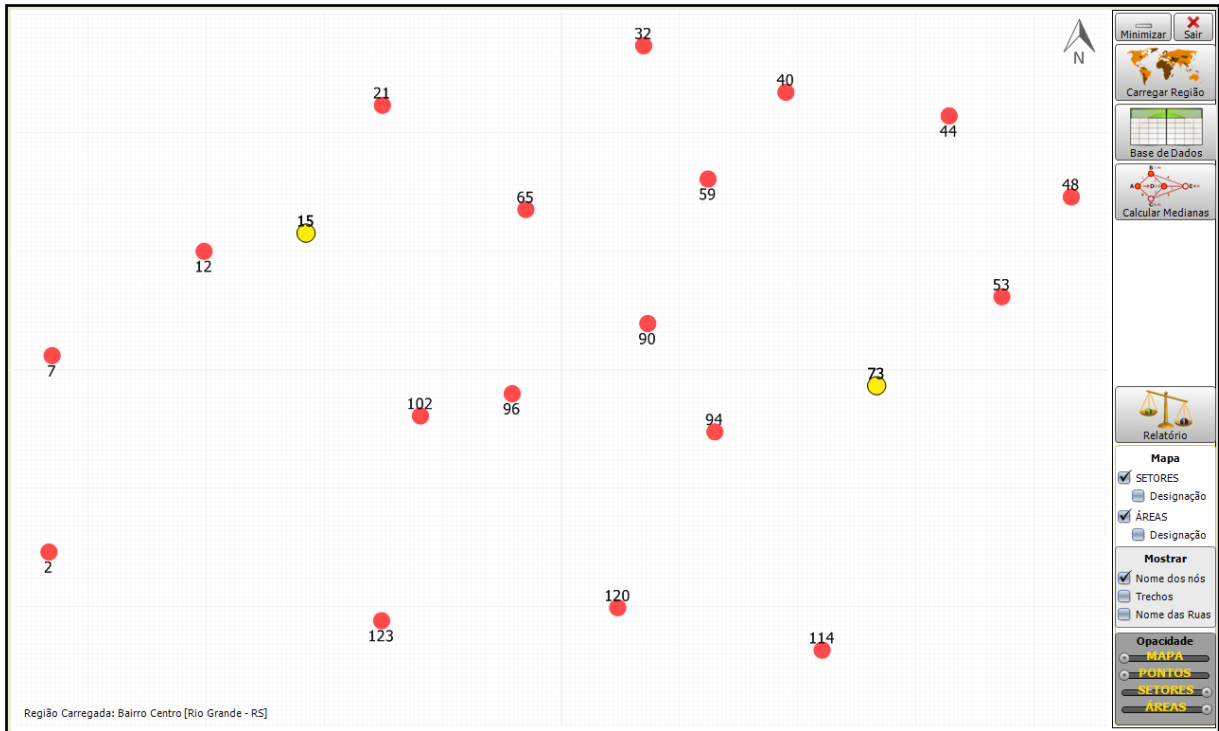


Figura 6.5 – Definição das medianas

Sendo assim, dentre os 20 pontos: [114-120-21-7-12-65-15-44-2-73-32-123-94-102-40-53-48-59-90-96] teve-se como resultado utilizando o algoritmo Teitz & Bart, as medianas [15,73], cujo valor de transmissão foi de 4972,65419.

## 6.2.4. Formação das Áreas

Posteriormente a formação dos setores tem-se o objetivo de formar as duas áreas e, para isto, utiliza-se o mesmo método de designação do item 6.2.2. Os resultados a seguir são referentes as áreas dos cenários discutidos anteriormente.

### 6.2.4.1. Cenário I

A demanda dos 20 pontos será a demanda de ambos os setores juntamente com seus respectivos trechos de quadra designados. Por exemplo, os somatórios das demandas dos pontos que foram designados à mediana 2 totalizaram 18,30, logo este valor passará a ser a demanda do ponto 2 e assim sucessivamente, conforme a visualização da Tabela 6.8.

Tabela 6.8 – Demanda de cada ponto

<b>Ponto (Mediana)</b>	<b>Demanda</b>	<b>Ponto (Mediana)</b>	<b>Demanda</b>
<b>2</b>	18,30	<b>59</b>	65,20
<b>7</b>	20,70	<b>65</b>	66
<b>12</b>	26	<b>73</b>	65,60
<b>15</b>	59	<b>90</b>	63
<b>21</b>	65,10	<b>94</b>	64,50
<b>32</b>	66	<b>96</b>	65,20
<b>40</b>	65,80	<b>102</b>	49
<b>44</b>	54,10	<b>114</b>	16,80
<b>48</b>	37,90	<b>120</b>	30,60
<b>53</b>	21,60	<b>123</b>	31,40

A Tabela 6.8 foi construída obedecendo as taxas de ocupação de 100%, 60% e 30%. Da mesma forma, a capacidade máxima das áreas de 528,78 foi obtida seguindo os passos descritos no Capítulo IV. A Figura 6.6 representa o mapa com os 18 setores designados às 2-medianas formando as áreas do estacionamento rotativo.

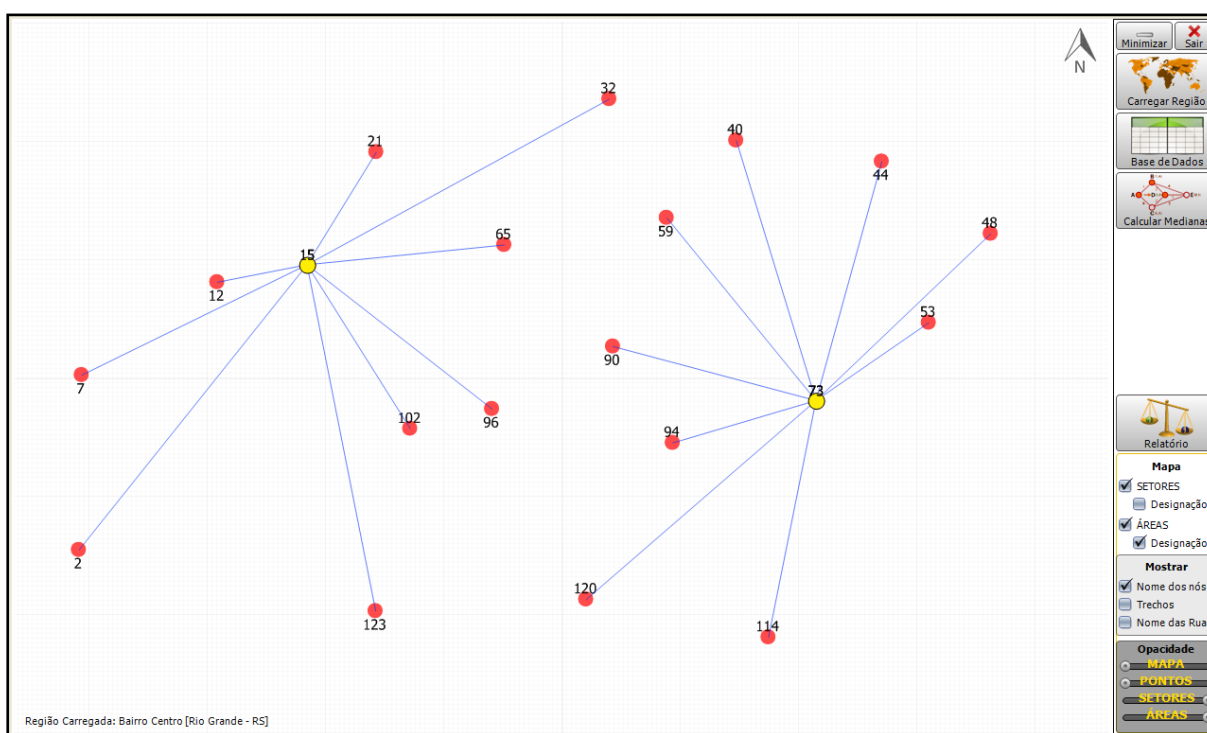


Figura 6.6 – Designação dos setores às medianas (cenário I)

Através da Figura 6.6, percebe-se que os 18 setores, juntamente com seus respectivos trechos de quadra, foram designados para cada uma das áreas. A seguir tem-se a Tabela 6.9 com a formação destas áreas e os setores atribuídos.

Tabela 6.9 – Formação das áreas (cenário I)

Áreas	Ponto (Mediana)	Setores designados	Vagas atendidas	Setores atendidos	Demanda
1	15	02-07-12-15-21-32-65-96-102-123	558	10	407,70
2	73	40-44-48-53-59-73-90-94-114-120	554	10	419,50

Analisando a Tabela 6.9, observa-se que houve uma boa distribuição das vagas em cada área, sendo que o supervisor da área 1 atenderá apenas 4 vagas mais que o supervisor da área 2.

#### 6.2.4.1. Cenário II

Para dar continuidade aos resultados do segundo cenário, tem-se a Tabela 6.10 com as demandas calculadas de acordo com as taxas de 100%, 80% e 40%.

Tabela 6.10 – Demanda de cada ponto

Ponto (Mediana)	Demanda	Ponto (Mediana)	Demanda
2	24,4	<b>59</b>	72,6
7	27,6	<b>65</b>	68
12	30	<b>73</b>	70,6
15	70	<b>90</b>	72
21	69,8	<b>94</b>	70
32	72,8	<b>96</b>	68,6
40	72,4	<b>102</b>	39
44	54	<b>114</b>	22,4
48	44,2	<b>120</b>	40,8
53	28	<b>123</b>	34,2

O valor da capacidade máxima das áreas é de 584,11 e o mapa com as duas áreas do estacionamento rotativo está representado na Figura 6.7.

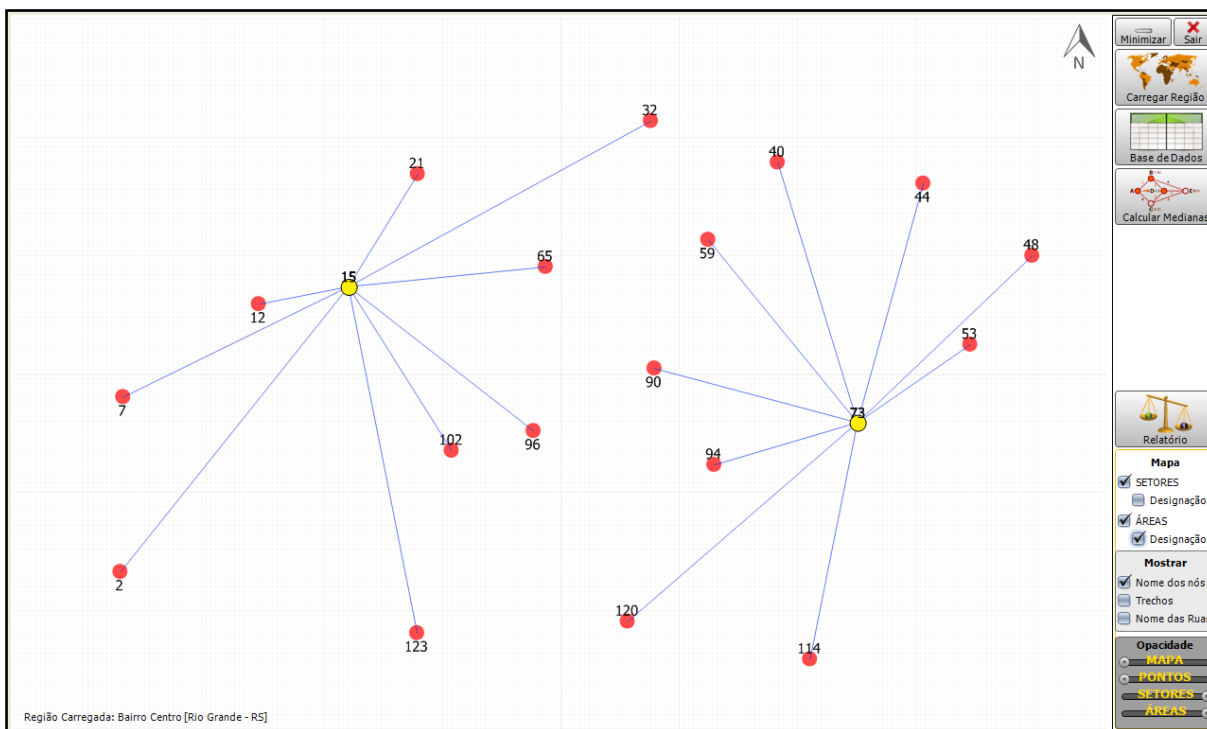


Figura 6.7 – Designação dos setores às medianas (cenário II)

Destaca-se na Figura 6.7, as duas áreas com seus respectivos setores designados. A seguir tem-se a Tabela 6.11 a qual detalha esta designação.

Tabela 6.11 – Formação das áreas (cenário II)

Áreas	Ponto (Mediana)	Setores designados	Vagas atendidas	Setores atendidos	Demanda
1	15	02-07-12-15-21-32-65-96-102-123	609	10	434,40
2	73	40-44-48-53-59-73-90-94-114-120	624	10	476,40

Através da Tabela 6.11, nota-se que o supervisor responsável pela área 1 atenderá 15 vagas a menos que o supervisor da área 2, mesmo assim, considera-se pouca diferença no total de vagas atendidas.

Em ambos cenários, as áreas obtiveram os mesmos setores designados, porém alguns setores de cada cenário possuem trechos de quadra diferentes, motivo pelo qual se justifica a diferença de 4 e 15 vagas nos cenários analisados.

Portanto, com relação a quantidade de vagas das áreas obtidas, houve um equilíbrio satisfatório na distribuição das vagas.

A partir destes resultados, tem-se duas propostas de distribuição dos setores e áreas do Estacionamento Rotativo da cidade de Rio Grande como uma nova forma de estruturar o atual serviço. Então, apresenta-se através das Figuras 6.8 (a) e 6.8 (b) os setores e áreas referentes ao cenário I e as Figuras 6.9 (a) e 6.9 (b) os setores e áreas do cenário II, contendo a nova configuração do sistema.











### **6.3. Considerações**

Neste capítulo apresentou-se os resultados comparativos dos Métodos I e II para a definição das medianas e optou-se pelo primeiro por apresentar o menor número de transmissão.

Na sequência, foi implementado o Problema de Designação para a formação dos setores e o Método Húngaro Modificado como método de solução. Apresentou-se dois cenários com variações nas taxas de ocupação e ambos mostraram qualidade na solução. No final, destacou-se as duas propostas de organização dos setores e áreas do estacionamento rotativo.

## 7. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

### 7.1. Considerações Finais

Com base nesse estudo, foi desenvolvido um aplicativo que permite ser utilizado em outros estudos de casos, com o objetivo de atender as necessidades de diversas regiões que possuem o serviço de estacionamento rotativo ou desejam implantar. Trata-se de um programa robusto e flexível, o qual o tomador de decisões pode variar o número de setores, áreas e, de uma forma eficiente, obter os trajetos para uma fiscalização de qualidade. Além de contribuir com uma distribuição equilibrada do serviço de fiscalização entre os funcionários de modo a não sobrecarregá-los, facilitando a rotina de trabalho de fiscais e supervisores.

Dentro desse contexto, fez-se uma nova proposta de operacionalização do sistema de ERR da cidade de Rio Grande. Obteve-se alguns dados e informações como o número de vagas em cada trecho de quadra e, a partir disso, foi possível analisar e estruturar o problema em estudo.

Uma das etapas da metodologia foi a determinação das medianas, realizada pela comparação entre o Método I (Teitz & Bart) e Método II (Busca Tabu). Na implementação do primeiro método, foi gerada uma solução inicial aleatória e no segundo método, foram definidos parâmetros diferenciados e a mesma solução inicial do Método I. Na análise dos resultados, os métodos apresentaram boas soluções, porém optou-se pelo algoritmo de Teitz & Bart que resultou na menor distância a ser percorrida pelo fiscal.

Na implementação do PD, para a formação dos setores e áreas, foram analisados dois cenários com variações nas taxas de ocupação. Concluiu-se que em ambos, as vagas ficaram bem distribuídas, mas se houvesse a diminuição no número de setores, talvez seria possível obter uma melhor distribuição dos funcionários e uniformidades das vagas. Então, destaca-se a importância de novos cenários com variações no parâmetro  $p$ . Após, apresentou-se duas propostas de distribuição da região do estacionamento rotativo de forma a equilibrar o serviço dos 20 fiscais e 2 supervisores.

Outro fator importante desta pesquisa é a interface gráfica do aplicativo desenvolvido, a qual possibilita ações do usuário na elaboração de mapas dos setores e das áreas, assim como relatórios de forma rápida e eficiente. Salienta-se o aspecto dinâmico do aplicativo para

qualquer problema de ERR em estudo, pois permite alterações, seja acréscimos ou reduções no número de trechos de quadra do estacionamento rotativo. Desta forma, os fiscais terão acesso a mapas atualizados contendo os trajetos das ruas a serem percorridos, uma vez que no serviço atual estas informações são feitas de forma empírica e manual, como foi detectado na pesquisa realizada junto à empresa.

A seguir tem-se a Tabela 7.1 que compara as distribuições das vagas nos 11 setores atuais com os 20 setores propostos após a aplicação dos métodos no cenário I.

Tabela 7.1 – Distribuição das vagas no modelo atual e no modelo proposto

Modelo atual			Modelo proposto (cenário I)					
Setores	Vagas Atendidas	Trechos atendidos	Setores	Vagas atendidas	Trechos atendidos	Setores	Vagas atendidas	Trechos atendidos
A	134	11	<b>1</b>	21	04	<b>11</b>	74	07
B	225	16	<b>2</b>	39	04	<b>12</b>	75	03
C	102	11	<b>3</b>	32	06	<b>13</b>	69	07
D	233	12	<b>4</b>	72	06	<b>14</b>	70	09
E	138	10	<b>5</b>	73	08	<b>15</b>	74	11
F	173	19	<b>6</b>	70	06	<b>16</b>	75	07
G	74	07	<b>7</b>	81	05	<b>17</b>	61	06
H	151	15	<b>8</b>	60	06	<b>18</b>	20	06
I	134	11	<b>9</b>	41	07	<b>19</b>	37	08
J	67	06	<b>10</b>	28	06	<b>20</b>	40	04
K	98	08	<i>Nova proposta de distribuição dos trechos de quadra</i>					

Partindo da análise da tabela, pode-se observar que no modelo atual, o número de trechos por setor é variável, pois no setor J há 67 vagas e seis trechos enquanto que no setor B há 225 vagas e 16 trechos. Consequentemente, há uma desigualdade no número de vagas destes setores e isto afeta diretamente a qualidade no serviço dos funcionários. No modelo proposto, não há muita diferença no número de vagas atendidas, resultando na eficiência do serviço prestado pelos fiscais.

Portanto, mostra-se a aplicação do software no serviço de otimização do ERR na cidade de Rio Grande, apresentando aos tomadores de decisão uma nova proposta e desta maneira, propiciando melhores condições para os fiscais e supervisores que terão oportunidade de realizar seu trabalho com eficiência. Nesse contexto, conclui-se que o trabalho foi bastante relevante pois alcançou os objetivos propostos e que o mesmo possa ser adaptado a outras regiões de forma a contribuir com o ERR.

## 7.2. Trabalhos Futuros

Embora tenha-se alcançado os objetivos propostos, sugere-se algumas pesquisas que poderiam contribuir para futuras aplicações:

- i. Aplicar novas técnicas de solução com relação ao problema das p-medianas que se adaptem ao problema estudado;
- ii. Verificar o desempenho dos métodos utilizados nesse estudo em cidades de maior porte;
- iii. Levar em consideração dias da semana, horas do dia e outras informações relevantes na obtenção das taxas de ocupação dos trechos de quadra;
- iv. Fazer um roteamento dos fiscais e/ou supervisores dentro, respectivamente, de cada setor de fiscalização e/ou área de fiscalização;
- v. Aplicar a metodologia proposta neste trabalho em outros problemas de otimização;
- vi. Fazer um estudo prévio sobre a localização dos parquímetros na fase de implantação do sistema de estacionamento rotativo.



## BIBLIOGRAFIA

AL-SULTAN, K. S.; AL-FAWZAN, M.A. A Tabu Search Approach to the Uncapacited Facility Location Problem, *Annals of Operations Research*, v. 86, p. 91–103, 1999.

ANTIQUERA, L. S.; PEREIRA, E. C.; MACHADO, C. S. Problema de Localização de Facilidades aplicado ao serviço de Estacionamento Rotativo. *Anais do XXXII Encontro Nacional de Engenharia de Produção – ENEGEP*. Bento Gonçalves, RS. 2012.

ANTIQUERA, L. S.; PEREIRA, E. C.; MACHADO, C. S. Modelagem do Serviço de Estacionamento Rotativo utilizando o algoritmo Teitz & Bart. *Anais da V Conferência Sul em Modelagem Computacional - MCSul*. Rio Grande, RS. 2012.

BASSANEZI, R. *Modelagem Matemática*. Unicamp – IMECC. Departamento de Matemática. 1994.

BATTITI, R.; TECCHIOLLI, G. The Reactive Tabu Search, *ORSA Journal of Computing*. Vol. 6, N. 2, p. 126-140. 1994.

BEASLEY, J. E. Lagrangean heuristics for location problems. *European Journal of Operational Research*, v. 65, p. 383-399, 1993.

BEZERRA, O. B. *Localização de Postos de Coleta Ao Escoamento de Produtos Extrativistas – Um Estudo de Caso Aplicado ao Babaçu*. Dissertação no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Florianópolis: UFSC, 1995.

BEZERRA, S. N.; VITOR, J. F. A.; SOUZA, S. R. Localização de Facilidades Utilizando Algoritmos Evolutivos Paralelos: Via Problema da P-mediana. *Anais do SPOLM 2008*. Rio de Janeiro - RJ, 2008.

CAPRI, M. A. V. *Otimização no Serviço do Estacionamento Rotativo Regulamentado utilizando técnicas da Pesquisa Operacional*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Métodos Numéricos em Engenharia, UFPR, 2005.

CERREÑO, Allison. L. C. The dynamics of on-street parking in large central cities. Rudin Center for Transportation Policy & Management. New York, Dec. 2002.

CHIYOSHI, F. Y.; GALVÃO, R. D. A statistical analysis of simulated annealing applied to the p-median problem. *Annals of Operations Research*, v. 96, p. 61-74, 2000.

CHRISTOFIDES, N. *Graph Theory - An Algorithmic Approach*. New York: Academic Press, 1975.

COLOMBO, J. A. *Localização e roteamento para serviços de atendimento emergencial – o caso da segurança eletrônica*. Curitiba, 2001. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Métodos Numéricos em Engenharia, UFPR, 2001.

CORNUÉJOLS, G.; FISCHER, M. L.; NEMHAUSER, G. L. Location of Bank Accounts to Optimize Float: An analytic Study of Exact and Approximate Algorithms. *Management Science*, 23, (1977), p. 789 – 810.

CORNUÉJOLS, G.; NEMHAUSER, G. L.; WOLSEY, L. A. *The uncapacitated facility location problem*. In: MIRCHANDANI, P. B.; FRANCIS, R. L. (Ed.). *Discrete Location Theory*. New York: Wiley-Interscience, 1990. cap. 3, p. 119–171.

CORREA, Elon S. *Algoritmos Genéticos e Busca Tabu Aplicados ao Problema das P-Mediana*. (In Portuguese) M.Sc. Mestrado em Metodos Numericos em Engenharia. Universidade Federal do Paraná (UFPR). Curitiba, Brazil. 2000.

CORREA, E. S.; STEINER, M. T. A.; FREITAS, A. A.; CARNIERI, C. A genetic algorithm for the p-median problem. In: *Genetic and Evolutionary Computation Conference (GECCO 2001)*, 7-11 Jul. San Francisco: Morgan Kauffman, p. 1268-1275, 2001.

CORRÊA, F. A. *Relaxações e método de decomposição para alguns problemas de localização de facilidades modelados em grafos*. Tese (Doutorado em Computação Aplicada) Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2008.

COSTA, C. E. S. *Aplicação de Técnicas de Pesquisa Operacional na determinação de setores de atendimento de uma concessionária de energia*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Métodos Numéricos em Engenharia, UFPR, 2005.

DASKIN, M. *Network and discrete location: models, algorithms and applications*. New York: Wiley Interscience, 1995. 500 p.

DENSHAM, P. J.; RUSHTON, G. A more efficient heuristic for solving large p-medians problems. *Paper in Regional Science*, 71, p. 307 – 329, 1992.

DETOFENO, T. C. *Otimização de rotas de coleta de resíduos sólidos urbanos, utilizando técnicas de Pesquisa Operacional*. Dissertação de Mestrado, Pós Graduação em Métodos Numéricos em Engenharia. UFPR – Curitiba, 2009.

DUCATI, E. A. *Busca tabu aplicada ao problema de localização de facilidades com restrições de capacidade*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia Elétrica e Computação, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

ELIAS, A. C. C. *Estacionamento Rotativo pago em via pública*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, UFRGS, Porto Alegre, RS, 2001.

FEDER, M. MACIEL, L. B. *Panorama da Zona Azul no Brasil*. 16º Congresso Brasileiro de Transporte e Transito. Maceió, AL, 2007.

FEDER, M. A influência dos estacionamentos no contexto urbano. *Revista da ANTP (Associação Nacional de Transportes Públicos)*, Ano 28, 2º trimestre, nº 110, São Paulo, SP, 2006.

FERREIRA, G. C.; SOUZA, M. J. F. S.; DUTRA, V. G.; *Metaheurísticas Simulated Annealing e Iterated Local Search aplicadas ao Problema de p-medianas Capacitado: um*

Estudo de caso. XXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Rio de Janeiro, RJ. 2008.

FOX, B. L. Integrating and accelerating Tabu Search, simulated annealing and genetic algorithms. *Annals of Operations Research* 41, 1993, p. 47-67.

GALLEGO, R. A.; DE OLIVEIRA, S. A. TSNOR: modelo de “tabu search” para o planejamento da transmissão de sistemas de grande porte. Campinas: FEEC/Unicamp, março 1997. 6 p.

GALVÃO, R. D. Uncapacitated facility location problems: contributions. *Pesquisa Operacional*, v. 24, n. 1, p. 7–38, April 2004.

GALVAO, R. D.; RAGGI, L. A. A method for solving to optimality uncapacitated location problems. *Annals of Operations Research*, 18, p. 225 – 244. 1989.

GAMACHE, M.; SOUMIS, F.; MARQUIS, G.; DESROSIERS, J. A column generations approach for large-scale aircrew rostering problems. *Operations Research*, v. 47, n. 2, p. 247-263, Mar.- Apr. 1999.

GANHOTO, M. A. *Busca Tabu Aplicada ao Problema de Roteamento Periódico de Veículos*. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP. Instituto de Computação, Campinas, 2004.

GARFINKEL, R. S.; NEEBE, W. and RAO, M. R. An Algorithm for the M-median Location Problem. *Transportation Science*, v. 8, p. 217-236, 1974.

GAREY, M. R.; JOHNSON, D. S. *Computers and intractability: a guide to the theory of NP-completeness*. San Francisco: W. H. Freeman and C., 1979, 340 p.

GENDREAU, M. *An introduction to tabu search*. Universidade de Montreal. Montreal, Canadá, 2002.

GLOVER, F. Future paths for integer programming links to Artificial intelligence. *Computers and Operations Research*. Vol. 13, p. 533-549. 1986.

GOLDBARG, M. C. *Otimização Combinatória e Programação Linear: modelos e algoritmos*. Rio de Janeiro: Ed. Campus, 2000.

GOLDBERG, D. E. *Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning*. Addison-Wesley, Reading, MA, 1989.

GOMES, N. M. G.; SENNE, E. L. F. S. Um algoritmo de Busca Tabu para solução de problemas de Localização de p-medianas. XXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Rio de Janeiro, RJ. 2008.

GONÇALVES, S. M. *Uma metodologia para o Roteamento de Veículos – o estudo de caso da Distribuição de Água Mineral em Itu – SP*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Métodos Numéricos em Engenharia, UFPR, 2003.

GRAVES, G. W.; McBRIDE, R. D.; GERSHKOFF, I.; ANDERSON, D.; MAHIDHARA, D. Flight crew scheduling. *Management Science*, v. 39, n. 6, p. 736-745, Jun. 1993.

HAKIMI, S. L. Optimum location of switching centers and the absolute centers and the medians. *Operations Research*, 12, 450-459, 1964.

HALE, T. S.; MOBERG, C. R. Location science review. *Annals of Operations Research*, v. 123, p. 21–35, 2003.

HANSEN, P. The steepest ascent mildest descent heuristic for combinatorial programming. In: *Congresso n Numerical Methods in Combinatorial Optimization*, Italy, 1986.

HANSEN, P.; MLADENOVIC, N.; PEREZ, D. Variable neighborhood decomposition search. *Journal of Heuristics*, v. 7, p. 335-350, 2001.

HOFFMAN, K. L.; PADGERG, M. Solving airline crew scheduling problems by branch-and-cut. *Management Science*, v. 39, n. 6, p. 657-682, Jun. 1993.

HORNER, D. *Resolução do problema das  $p$ -medianas não capacitado: comparação de algumas técnicas heurísticas*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, UFSC, 2009.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>>. Acesso em 20/10/2011.

KARIV, O.; HAKIMI, S. L. The  $p$ -median problems. In: *An Algorithmic Approach to Network Location Problems*. SIAM Journal on Applied Mathematics, Philadelphia, 37, 539-560, 1979.

KOSKOSIDIS, Y. A.; POWELL, W. B. Clustering algorithms for consolidation of customer orders into vehicle shipments. *Transportation Research*, v. 26B, n. 5, p. 365–379, October 1992.

KUEHN, A. A.; HAMBURGER, M. A Heuristic Program for Locating Warehouses. *Management Science*, 9, 1963.

LACHTERMACHER, G. *Pesquisa Operacional na Tomada de Decisões*. 3<sup>a</sup>. ed. revista e ampliada. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.

LAGUNA, M. Tabu Search for a single machine-scheduling problem. *Journal of Intelligent Manufacturing*, vol. 2, p. 253-260, 1991.

LAW, A. M.; KELTON, W. D. *Simulation Modeling & Analysis*. 2<sup>o</sup> ed. New York: McGraw-Hill, 1991.

LIPSCHUTZ, S.; LIPSON, M. L. *Teoria e problemas de matemática discreta*. Tradução Heloísa Bauzer Medeiros. 2<sup>a</sup> edição – Porto Alegre: Bookman, 2004.

LORENA, L. A. N. Análise especial de redes com aplicações em sistemas de informações geográficas. *Revista de Produção Online*. Florianópolis, v. 3, n. 2, 2003.

LORENA, L. A. N.; SENNE, F. A Lagrangean/Surrogate heuristic for uncapacitated facility location problems. In: Anais dos Resumos Estendidos VIII CLAIO e XXVIII SBPO, Rio de Janeiro, 854-859, 1996.

LORENA, L. A. N.; SENNE, F. Improving traditional subgradient scheme for lagrangean relaxation: an application to location problems. *International Journal of Mathematical Algorithms*, v. 1, p. 133-151, 1999.

MANSANO, E. M. *Algoritmos Busca Tabu Paralelos Aplicados ao Planejamento da Expansão da Transmissão de Energia Elétrica*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós – Graduação em Engenharia Elétrica. Ilha Solteira, SP, 2008.

MAPA, S. M. S.; *Localização-Alocação de instalações com sistema de informações geográficas e Modelagem Matemática*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Universidade Federal de Itajubá (MG), 2007.

MARANZANA, F. E. On the Location of supply points to minimize transport costs. *Operations Research Quarterly*, 15, p. 261 – 270, 1964.

MARINS, F. A. S. *Introdução à Pesquisa Operacional*. São Paulo: cultura acadêmica: Universidade Estadual Paulista, p. 176. 2011.

MARTINS, G. de A. *Estatística Geral e Aplicada*. São Paulo: Editora Atlas, 2001.

MAZUI, Guilherme. Quip comemora os 70,9 % de mão de obra rio-grandina no polo naval. Zero Hora, Porto Alegre, 03 abril 2011. Disponível em: <<http://wp.clicrbs.com.br/riogrande/2011/04/03/quip-comemora-os-709-de-mao-de-obra-riograndina-no-polo-aval/?topo=77,1,1>> Acesso em: 25 de Julho de 2011.

MENDES, F. B.; SILVA, T.; FARIA, C. A. Localização Estratégica de Estacionamento para Minimizar o Congestionamento na Área Central. XVI PANAM – Lisboa, Portugal. P. 15-18, 2010.

MICHEL, L.; VAN HENTENRYCK, P. A Simple Tabu Search for Warehouse Location, *European Journal of Operational Research*, v. 157, p. 576-591, 2004.

NARCISO, M. G. *A relaxação lagrangeana/surrogate e algumas aplicações em otimização combinatória*. 1998. 134 p. Tese (Doutorado em Computação Aplicada) Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 1998.

NEUMAIER, A. *Mathematical Modeling*. Institut Für Mathematik, Universität Wien Strudlhofgasse 4. Wien - Áustria, 06 de novembro de 2003.

NETTO, P. O. B. *Grafos: Teoria, Modelos, Algoritmos*. São Paulo: Edgard Blucher, 2006.

NOVAES, A. G.; ALVARENGA, A. C. *Logística Aplicada – Suprimento e Distribuição Física*. São Paulo: Pioneira. 1994.

OHLEMÜLLER, M. Tabu search for large location-allocation problems. *Journal of Operational Research Society*, Amsterdam, v. 48, p. 745-750, 1997.

PASSOS, E. J. P. F. *Programação Linear como instrumento da Pesquisa Operacional*. São Paulo: Atlas, 2008.

PEREIRA, M. A. *Um método Branch-and-price para problemas de localização de p-medianas*. Tese de Doutorado em Computação Aplicada. São José dos Campos: INPE, 2005.

PESSOA, F. O. *Metodologia para Tomada de Decisão sobre a Operação de Estacionamentos Rotativos em Vias Públicas*. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Transportes UFRJ. Rio de Janeiro, 124 f., 1991.

PIRKUL, H. An integer programming model for the allocation of databases in a distributed computer system. *European Journal of Operational Research*, v. 26, n. 3, p. 401–411, 1986.

PIZZOLATO, N. D. A Heuristic for Large-Size p-Median Location Problems with Application to School Location. *Annals of Operations Research*, 50, p. 473 – 485, 1994.



PIZZOLATO, N. D.; GANDOLPHO, A. A. Técnicas de Otimização. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

PRADO, D. M. *Busca Tabu aplicada ao problema de localização de facilidades com restrições de capacidade e fonte única*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica. Campinas- SP. 2007.

PUREZA, V.; MORABITO, R. Uma heurística de Busca Tabu simples para o problema de carregamento de paletes do produtor. *Revista Pesquisa Operacional*. V. 23, n. 2, p. 359-378. 2003.

RABUSKE, M. A Introdução à Teoria dos Grafos. Florianópolis: UFSC, 1992. 184 p.

RBSTV RIO GRANDE. Área do estacionamento rotativo sera ampliada em Rio Grande. Disponível em: <http://wp.clicrbs.com.br/riogrande/2011/07/28/area-do-estacionamento-rotativo-sera-ampliada-em-rio-grande/>. Acesso em 29/11/2011.

RAIO X DAS RODOVIÁRIAS. Jornal do Almoço. Rio Grande. RBS TV, 21 de julho de 2011. Programa de TV.

RESENDE, M. G. C.; WERNECK, R. F. A GRASP with path-relinking for the p-median problem. AT&T Labs Research, p. 22. 2002.

RESENDE, M. G. C.; WERNECK, R. F. A hybrid heuristic for the p-median problem. *Journal of Heuristics*, 10, p. 59 – 88. 2004.

RODRIGUES, L. B.; VIEIRA, F. B.; AUGUSTINI, E. O Método Húngaro de Otimização para o problema da Alocação de Tarefas. *FAMAT em Revista*, nº04. Universidade Federal de Uberlândia-UFU/MG. 2005.

RODRIGUES, S. B *A metaheurística colônia de formigas aplicada a um problema de roteamento de veículos: caso da Itaipu Binacional*. Dissertação de Mestrado, Pós-Graduação em Métodos Numéricos em Engenharia. UFPR - Curitiba, 2007.

ROSÁRIO, R. R. L.; CARNIERI, C; STEINER, M. T. A. *Proposta de solução para o problema das p-Medianas na localização de unidades de saúde 24 horas*. Dissertação de Mestrado, Pós Graduação em Métodos Numéricos em Engenharia. UFPR. 119 p. Curitiba-PR, 2002.

SCHEINERMAN, E. R. *Matemática Discreta: uma introdução*. Tradução Alfredo Alves de Farias. São Paulo: Cengage Learning, 2009.

SCHILLING, D. A.; ROLLAND, E. e CURRENT, J. R. An efficient Tabu Search Procedure for the p-median problem. *European Journal of Operational Research*, 96, p. 329 – 342. 1996.

SETRAN, PPD – Uma experiência pioneira no estacionamento rotativo de Vitória. Congresso Brasileiro de Transporte e Transito. 14/10, Anais: ANTP, 2003. 1 CD-ROM, Vitória, Brasil, 2003.

SHAMBLIN, J.E.; STEVENS Jr., G.T. *Pesquisa Operacional – Uma abordagem básica*. 1ª edição. São Paulo: Editora Atlas, 1979.

SMITH, Jonathan. Controlling parking: experience in the United Kingdom. In.: *Crime Prevention Studies*, Criminal Justice Press, v. 2, Monsey, NY, USA, 1994.

STEINER, M. T. A. *Notas de aula*. UFPR, Programa de Pós-Graduação em Métodos Numéricos em Engenharia, Curitiba, PR, 2003.

SUN, M. Solving the uncapacitated facility location problem using the tabu search. *Computers & Operations Research*, 33, p. 2563 – 2589. 2006.

TAHA, H. A. *Pesquisa Operacional: uma visão geral*. Tradução de Arlete Simile Marques. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2008.

TANOMARU, Júlio. *Motivação, fundamentação e aplicações de algoritmos genéticos*. In: Congresso Brasileiro de Redes Neurais, 2; Escola de Redes Neurais, 3, 1995, Curitiba.

TEITZ, M. B.; BART, P. Heuristic concentration: two-stage solution construction. Operational Research Society, London, 1968.

TRAGANTALERNGSAK, Suda; HOLT, John; RONNQVIST, Mikael. An exact method for the two-echelon, single-source, capacited facility location problem. European Journal of Operational Research, Amsterdam, v.123, p. 473-489, 1999.

VALLIM, A. R. *Localização de centros de distribuição de carga: contribuições à modelagem matemática*. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, SP, 2004.

VOSS, S. A reverse elimination approach for the p-median problem. Studies in Locational Analysis. V. 8, p. 49-58, 1996.

WRIGHT, M. B. Speeding up the Hungarian algorithm. Computers and Operations Research, v. 17, n. 1, p. 95-96, 1990.

**ANEXO 1**

**DISTRIBUIÇÃO DAS VAGAS E RUAS PERTENCENTES A ZONA  
AZUL**

Apresenta-se a divisão das vagas entre carros (C), motos (M), idosos (I) e deficientes físicos (DF) e as ruas que compõe o ERR de Rio Grande.

TRECHOS	VAGAS			
	C	M	I	DF
Rua 24 de Maio entre 19 de Fevereiro e Luiz Loréa	6	0	0	0
Rua 19 de Fevereiro entre 24 de Maio e Visconde de Paranaguá	61	15	2	1
Rua Cons. Pinto Lima entre Mal. Floriano e Gen. Bacelar	15	6	0	0
Rua Cons. Pinto Lima entre Gen. Bacelar e Luiz Loréa	0	0	0	0
Cais dos Pescadores entre Francisco C. e Gen. Osório	19	0	0	0
Rua Gen. Neto entre Francisco C. e Gen. Osório	11	0	0	0
Rua Gen. Neto entre Gen. Osório e Marechal Floriano	53	7	0	0
Rua Gen. Neto entre Marechal Floriano e Gen. Bacelar	15	0	0	0
Rua Gen. Neto entre Gen. Bacelar e Luiz Loréa	0	12	0	0
Rua Gen. Neto entre Luiz Loréa e Silva Paes	6	6	0	0
Travessa M. Eurico de Magalhães entre L. Loréa e Gen. Bacelar	10	0	0	0
Rua Duque de Caxias entre Silva Paes e Luiz Loréa	18	6	0	0
Rua Duque de Caxias entre Luiz Loréa e Gen. Bacelar	19	12	0	0
Rua Duque de Caxias entre Gen. Bacelar e Marechal Floriano	12	18	2	1
Rua das Andradas entre Gen. Osório e Riachuelo	14	6	0	0
Rua das Andradas entre Gen. Osório e Marechal Floriano	48	0	0	0
Rua das Andradas entre Marechal Floriano e Gen. Bacelar	0	58	0	0
Rua das Andradas entre Gen. Bacelar e República do Líbano	5	0	1	0
Rua das Andradas entre Rep. Do Libâno e Luiz Loréa	11	0	0	0
Rua das Andradas entre Luiz Loréa e Silva Paes	23	6	0	0
Praça Júlio de Castilhos	12	8	0	0
Rua Zalony entre Silva Paes e Luiz Loréa	17	0	1	0
Rua Zalony entre Luiz Loréa e Rep. do Libâno	4	6	0	0
Rua Zalony entre Rep. do Libâno e General Bacelar	0	0	0	0
Rua Zalony entre General Bacelar e Marechal Floriano	10	6	2	1
Rua Ewbank entre Marechal Floriano e Riachuelo	57	10	0	0
Rua Benjamim Constant entre Riachuelo e Marechal Floriano	11	6	0	0
Rua Benjamim Constant entre Marechal Floriano e G. Bacelar	6	18	1	2
Rua Benjamim Constant entre General Bacelar e Rep. do Libâno	8	12	0	0
Rua Benjamim Constant entre Rep. do Libâno e Luiz Loréa	8	10	0	0
Rua Benjamim Constant entre Luiz Loréa e Silva Paes	18	6	0	0
Travessa do Afonso entre Marechal Floriano e Riachuelo	12	6	0	0
Avenida Silva Paes entre General Neto e Duque de Caxias	25	10	0	0
Avenida Silva Paes entre Duque de Caxias e Andradas	30	6	2	0
Avenida Silva Paes entre Andradas e Zalony	3	0	0	1
Avenida Silva Paes entre Zalony e Benjamin Constant	33	12	0	0
Rua Luiz Loréa entre 24 de Maio e Cons. Pinto Lima	5	0	1	1
Rua Luiz Loréa entre Cons. Pinto Lima e General Neto	6	18	2	0
Rua Luiz Loréa entre Duque de Caxias e General Neto	8	4	0	1
Rua Luiz Loréa entre Andradas e Duque de Caxias	32	12	0	0
Rua Luiz Loréa entre Zalony e Andradas	14	6	0	0
Rua Luiz Loréa entre Benjamin Constant e Zalony	26	6	0	0
Rua L. Loréa entre Dr. Napoleão Laureano e Benjamin Constant	11	6	0	0
Rua Rep. do Líbano entre Andradas e Zalony	15	6	0	0

Rua Rep. do Líbano entre Zalony e Benjamin Constant	35	6	0	0
Rua Rep. do Líbano entre Benjamin Constant e Dr. Napoleão L.	11	0	0	0
Rua General Bacelar entre Cons. Pinto Lima e 24 de Maio	15	6	0	0
Rua General Bacelar entre General Neto e Cons. Pinto Lima	27	12	2	1
Rua G. Bacelar entre Fernando Duprat e Benjamin Constant	22	52	2	0
Rua Marechal Floriano entre Cons. Pinto Lima e General Neto	37	12	0	0
Rua Marechal Floriano entre General Neto e Duque de Caxias	42	6	0	1
Rua Marechal Floriano entre Duque de Caxias e Andradas	47	0	1	0
Rua Marechal Floriano entre Andradas e Ewbank	31	6	0	0
Rua Marechal Floriano entre Ewbank e Benjamin Constant	14	6	2	2
Rua M. Floriano entre Benjamin Constant e Travessa do Afonso	12	10	0	0
Rua M. Floriano entre Travessa do Afonso e Fernando Duprat	24	6	0	0
Rua General Osório entre General Neto e Cons. Pinto Lima	26	6	0	0
Rua General Osório entre Andradas e Mercado Público	13	0	0	0
Área ao redor do Mercado Público	59	18	0	1
Rua Riachuelo (Área ao redor da Câmara do Comércio)	30	6	0	1
Rua Riachuelo entre Ewbank e Andradas	40	6	0	0
Rua Riachuelo entre Benjamin Constant e Ewbank	54	6	0	0
Rua 24 de Maio entre General Vitorino e Carlos Gomes	14	0	0	7
Rua Carlos Gomes entre 24 de Maio e Paranaguá	18	2	2	17
Rua Gomes Freire entre 24 de Maio e Paranaguá	9	1	0	14
Rua 24 de Maio entre Carlos Gomes e Gomes Freire	12	1	1	0
Rua 24 de Maio entre Gomes Freire e 19 de Fevereiro	10	1	1	0
Rua General Neto entre Silva Paes e Conde de Porto Alegre	10	0	0	7
Rua G. Neto entre Conde de Porto Alegre e General Câmara	11	0	0	0
Rua B. Constant entre Silva Paes e Conde de Porto Alegre	23	1	1	8
Rua B. Constant entre Conde de Porto Alegre e Gen. Câmara	17	0	0	17
Rua General Câmara entre Gen. Neto e Duque de Caxias	25	0	1	6
Rua General Câmara entre Duque de Caxias e Andradas	30	0	0	0
Rua General Câmara entre Zalony e Andradas	21	0	0	6
Rua Andradas entre Silva Paes e Conde de Porto Alegre	18	0	0	10
Rua Andradas entre Conde de Porto Alegre e General Câmara	14	1	1	0
Rua Fernando Duprat entre Marechal Floriano e Riachuelo	28	0	0	0
Rua General Neto entre General Câmara e Vitorino	12	0	0	0
Rua Fernando Duprat entre Gen. Bacelar e Marechal Floriano	18	0	0	0
Rua Gen. Câmara entre Zalony e Benjamin Constan	25	15	0	0

O número de vagas das últimas quatro ruas não constam no material fornecido pela SMSTT, mas mesmas foram obtidas através de informações da empresa responsável.

**APÊNDICE A**

**DADOS OBTIDOS**

A seguir mostra-se a Tabela A.1 contendo os dados obtidos nas etapas 1 e 2 do capítulo IV.

Tabela A.1 – Dados obtidos

Pontos ou trecho $i$	Coordenadas X	Coordenadas Y	Medidas m	Nº de vagas $V_i$
1	427955,1791	6456307,9419	92,70	13
2	427915,5321	6456362,9182	98,98	8
3	427914,6131	6456381,5891	111,26	11
4	427975,8837	6456403,7983	66,48	12
5	427916,7072	6456460,3551	137,40	9
6	427990,0592	6456478,4403	67,49	9
7	427918,1746	6456528,0715	159,87	30
8	427916,5583	6456542,9867	169,80	21
9	428004,5420	6456553,3979	56,27	6
10	428047,5751	6456583,5293	55,05	7
11	428126,5056	6456569,2643	88,54	8
12	428046,2143	6456615,7805	51,76	6
13	428045,0477	6456626,4570	51,25	7
14	428131,4466	6456619,5742	100,04	15
15	428132,0926	6456631,1522	102,79	13
16	428068,9388	6456654,1220	50,78	7
17	428078,6747	6456657,3216	52,67	7
18	428134,3127	6456682,1043	115,36	13
19	428134,6950	6456695,9725	117,47	15
20	428202,7680	6456653,0185	51,41	8
21	428196,4017	6456738,6246	86,55	8
22	428135,5928	6456785,8829	127,80	17
23	428214,1289	6456739,2880	83,28	25
24	428230,2033	6456738,5378	79,40	22
25	428136,0547	6456797,7690	130,52	20
26	428203,5022	6456830,2643	70,99	4
27	428217,9464	6456806,6580	28,90	6
28	428363,7533	6456812,6898	54,96	13
29	428328,2774	6456787,3207	68,02	9
30	428399,9220	6456806,2278	31,08	3
31	428417,5166	6456821,7371	32,61	6
32	428416,5391	6456788,6856	35,42	6
33	428377,2286	6456768,8729	96,98	8
34	428434,1337	6456804,1950	35,08	7
35	428486,1903	6456818,6210	73,64	10
36	428569,3566	6456823,2210	235,30	75
37	428522,0987	6456753,0572	122,65	40
38	428446,2791	6456759,9091	126,08	38
39	428482,1875	6456694,3453	78,66	23



40	428536,4076	6456749,5734	114,39	16
41	428602,2131	6456793,9421	133,99	10
42	428663,3468	6456732,4657	96,48	5
43	428597,5412	6456688,0970	122,83	10
44	428673,8907	6456729,6988	94,42	10
45	428743,0626	6456715,3798	92,72	14
46	428826,6903	6456699,8926	91,98	14
47	428837,2326	6456697,6505	93,42	15
48	428776,8095	6456661,5327	74,33	10
49	428701,3448	6456676,3181	68,09	5
50	428736,8099	6456658,8277	149,8	19
51	428799,8713	6456604,4457	80,58	9
52	428809,0942	6456604,1439	75,74	11
53	428718,2853	6456577,5888	144,75	20
54	428738,4101	6456565,2882	101,95	15
55	428663,0476	6456573,6714	37,72	5
56	428655,2239	6456631,9708	85,53	13
57	428578,1450	6456674,9043	143,22	9
58	428506,8147	6456639,8214	72,91	14
59	428470,7725	6456676,5627	56,06	9
60	428425,3955	6456732,0227	67,49	10
61	428326,4492	6456698,5897	196,2	55
62	428388,8160	6456677,0975	95,19	9
63	428282,1258	6456677,2637	78,96	11
64	428222,2123	6456677,8343	31,06	4
65	428317,3116	6456650,9697	53,41	9
66	428339,6050	6456650,9963	52,56	9
67	428655,1048	6456523,0321	39,82	7
68	428653,0562	6456514,9085	41,07	7
69	428560,4397	6456540,1533	122,81	20
70	428639,9276	6456551,2785	49,19	8
71	428557,6389	6456531,8686	120,99	19
72	428495,4678	6456522,9039	38,43	7
73	428612,8136	6456502,8352	38,32	6
74	428628,8147	6456501,0412	34,6	6
75	428644,0084	6456472,4405	43,23	6
76	428615,2198	6456438,9783	75,18	11
77	428599,2284	6456441,5684	75,05	11
78	428549,1791	6456487,5610	116,95	14
79	428486,8488	6456462,7680	68,73	11
80	428536,8981	6456416,7754	111,86	15
81	428469,4616	6456556,3623	51,85	7
82	428437,7826	6456585,2762	42,69	6
83	428321,7999	6456578,2856	83,77	13
84	428354,1559	6456529,7463	81,4	12

85	428394,2297	6456544,6756	44,59	7
86	428405,5101	6456539,5273	33,47	7
87	428415,2056	6456565,4827	41,97	5
88	428430,6750	6456537,2650	33,63	7
89	428442,7385	6456532,6770	39,3	6
90	428420,0059	6456555,0558	26,05	7
91	428241,1085	6456567,6164	36,38	7
92	428461,3868	6456500,9991	45,45	8
93	428433,5239	6456472,3977	66,23	12
94	428476,4922	6456464,0316	67,41	9
95	428371,3313	6456517,9503	120,14	18
96	428305,7858	6456496,0465	66,75	10
97	428359,1640	6456451,9654	121,19	17
98	428424,7096	6456473,8692	66,2	10
99	428305,0876	6456580,3287	78,52	10
100	428267,6159	6456537,4287	56,88	9
101	428290,3532	6456498,3227	68,16	12
102	428228,4422	6456477,4248	116,33	12
103	428177,3779	6456521,7093	63,38	9
104	428226,0095	6456463,5240	114,92	13
105	428163,8484	6456442,5019	65,31	10
106	428356,7293	6456437,1088	120,06	15
107	428409,1069	6456392,1709	68,08	11
108	428445,3915	6456419,9762	42,17	3
109	428418,6803	6456390,4408	68,85	10
110	428532,6797	6456402,2682	117,67	15
111	428582,7075	6456356,3317	70,11	9
112	428597,8798	6456352,9856	70,45	12
113	428582,7406	6456276,5076	67,73	10
114	428566,8805	6456280,4531	67,76	9
115	428503,8343	6456258,9325	113,71	13
116	428500,8921	6456243,6076	112,54	12
117	428414,8723	6456259,4607	38,58	6
118	428418,0171	6456276,1825	40,56	6
119	428404,2368	6456314,5119	69,25	8
120	428394,6849	6456316,1548	67,83	10
121	428326,9139	6456278,6669	118,9	14
122	428330,2268	6456294,3070	118,38	18
123	428195,7953	6456305,1656	114,09	15
124	428199,6382	6456322,5700	114,14	14
125	428131,3706	6456270,8847	93,75	12
126	428149,2198	6456367,5785	67,41	11

**APÊNDICE B**

**EXEMPLOS GERAIS**

## B.1 - Grafo com quatro vértices

Com a finalidade de mostrar a utilização das coordenadas UTM encontradas no capítulo IV e conceitos como arestas e distâncias, fez-se um exemplo selecionando quatro vértices do grafo  $G = (V, A)$  da Figura 4.4, o qual representa o problema real em estudo. Tem-se então, o conjunto  $V = \{6, 7, 8, 9\}$  onde cada vértice é composto pelo par ordenado  $(x, y)$  e sua respectiva coordenada UTM, conforme está representado na Figura B.1. e na Tabela B.1. O conjunto de arestas são as ligações entre todos estes vértices e a cada ligação tem-se uma distância calculada pela fórmula da distância euclidiana.

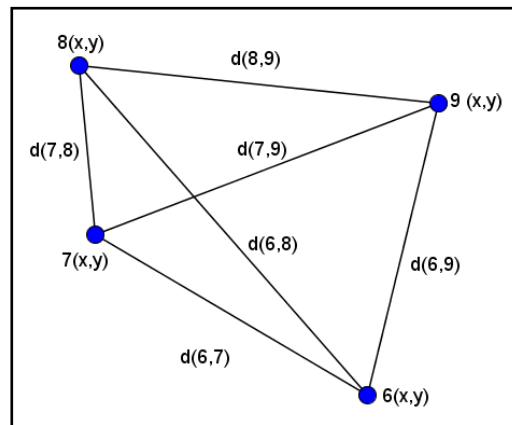


Figura B.1. – Grafo- exemplo

Tabela B.1– Coordenadas UTM referente aos quatro pontos escolhidos

Pontos	x	Y
6	427990,0592	6456478,4403
7	427918,1746	6456528,0715
8	427916,5583	6456542,9867
9	428004,5420	6456553,3979

## B.2 – Distância obtida utilizando o fator de correção

Escolheu-se os trechos de quadra 3 e 4 do problema em questão para mostrar a aproximação da distância obtida utilizando o fator de correção 1.35. A distância real foi calculada fazendo uma divisão da medida em metros de cada trecho de quadra obtida na etapa 1, pois cada ponto está situado no ponto médio.

$$d(v_3, v_4) = \sqrt{(x_b - x_a)^2 + (y_b - y_a)^2}$$

$$d(3,4) = \sqrt{(427975,8837 - 427914,6131)^2 + (6456403,7983 - 6456381,5891)^2}$$

$$d(3,4) = 65,1715m$$

$$d(3,4) = 65,1715 \times 1,35$$

$$d(3,4) = 87,9815 m$$

As medidas dos trechos de quadra 3 e 4 são, respectivamente, 111,26 m e 66,48 m. Então,  $111,26 m \div 2 = 55,63 m$  e  $66,48 m \div 2 = 33,24 m$ . Portanto, a medida real será  $55,63 m + 33,24 m = 88,87 m$ .

Em razão desta aproximação, o fator a ser utilizado no cálculo da distância é de 1,35. Este processo foi repetido alterando o fator, mas os resultados não foram satisfatórios.

## B. 3 - Metaheurística Busca Tabu

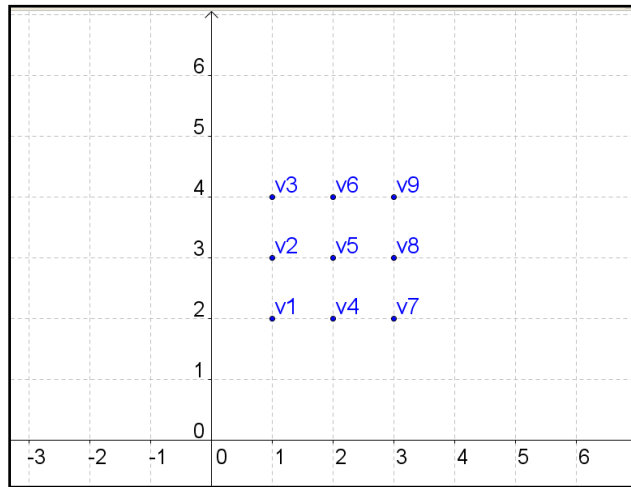
### B.3.1 Exemplo

Será exposto um exemplo didático a ser resolvido pelo método Busca Tabu com o objetivo de facilitar sua compreensão.

### B.3.2 Objetivo

Encontrar a localização de 3 medianas de modo que a soma das distâncias percorridas seja a menor possível.

### B.3.3 Localização dos pontos no plano cartesiano e os pares ordenados



$$\begin{array}{lllll}
 v_1 = (1,2) & v_2 = (1,3) & v_3 = (1,4) & v_4 = (2,2) & v_5 = (2,3) \\
 v_6 = (2,4) & v_7 = (3,2) & v_8 = (3,3) & v_9 = (3,4) &
 \end{array}$$

### B.3.4 Matriz das distâncias euclidianas

A distância entre todos os pontos é calculada conforme o exemplo e após tem-se a Matriz das distâncias euclidianas (distância x peso, neste caso, tem-se peso 1).

$$d(v_1, v_2) = \sqrt{(1 - 1)^2 + (3 - 2)^2} = 1$$

Tabela B.2 – Representação da Matriz Peso - Distância

	$v_1$	$v_2$	$v_3$	$v_4$	$v_5$	$v_6$	$v_7$	$v_8$	$v_9$
$v_1$	0	1	2	1	$\sqrt{2}$	$\sqrt{5}$	2	$\sqrt{5}$	$\sqrt{8}$
$v_2$	1	0	1	$\sqrt{2}$	1	$\sqrt{2}$	$\sqrt{5}$	2	$\sqrt{5}$
$v_3$	2	1	0	$\sqrt{5}$	$\sqrt{2}$	1	$\sqrt{8}$	$\sqrt{5}$	2
$v_4$	1	$\sqrt{2}$	$\sqrt{5}$	0	1	2	1	$\sqrt{2}$	$\sqrt{5}$
$v_5$	$\sqrt{2}$	1	$\sqrt{2}$	1	0	1	$\sqrt{2}$	1	$\sqrt{2}$
$v_6$	$\sqrt{5}$	$\sqrt{2}$	1	2	1	0	$\sqrt{5}$	$\sqrt{2}$	1
$v_7$	2	$\sqrt{5}$	$\sqrt{8}$	1	$\sqrt{2}$	$\sqrt{5}$	0	1	2
$v_8$	$\sqrt{5}$	2	$\sqrt{5}$	$\sqrt{2}$	1	$\sqrt{2}$	1	0	1
$v_9$	$\sqrt{8}$	$\sqrt{5}$	2	$\sqrt{5}$	$\sqrt{2}$	1	2	1	0

### B.3.5 Resolução

$V$  é o conjunto de todos os vértices  $V = \{v_1, v_2, v_3, v_4, v_5, v_6, v_7, v_8, v_9\}$

$V_3$  é o conjunto da solução inicial aleatória  $V_3 = \{v_3, v_6, v_7\}$

$V'$  é o conjunto de vértices candidatos a solução  $V' = V - V_3 = \{v_1, v_2, v_4, v_5, v_8, v_9\}$

**FO:**  $\sigma(V_3) = \sum_{v_1 \in V'} w_i \times d(v, V_3)$  para  $v \in V'$

- **Cálculo da FO para a solução inicial  $V_3 = \{v_3, v_6, v_7\}$  : FO: 7**

	$v_3$	$v_6$	$v_7$	
$v_1$	2	$\sqrt{5}$	2	Mínimo $d(v_1, V_3) = 2$ ( $v_3$ )
$v_2$	1	$\sqrt{2}$	$\sqrt{5}$	Mínimo $d(v_2, V_3) = 1$ ( $v_3$ )
$v_4$	$\sqrt{5}$	2	1	Mínimo $d(v_4, V_3) = 1$ ( $v_7$ )
$v_5$	$\sqrt{2}$	1	$\sqrt{2}$	Mínimo $d(v_5, V_3) = 1$ ( $v_6$ )
$v_8$	$\sqrt{5}$	$\sqrt{2}$	1	Mínimo $d(v_8, V_3) = 1$ ( $v_7$ )
$v_9$	2	1	2	Mínimo $d(v_9, V_3) = 1$ ( $v_6$ )

- **Movimento ADD (cada vértice do conjunto  $V' = \{v_1, v_2, v_4, v_5, v_8, v_9\}$  será adicionado em  $V_3$ ).**

Adiciona-se em  $V_3$  o vértice  $v_1$ , logo tem-se  $V' = \{v_2, v_4, v_5, v_8, v_9\}$  e  $V_3 = \{v_1, v_3, v_6, v_7\}$

	$v_1$	$v_3$	$v_6$	$v_7$	
$v_2$	1	1	$\sqrt{2}$	$\sqrt{5}$	Mínimo $d(v_2, V_3) = 1$ ( $v_3$ )
$v_4$	1	$\sqrt{5}$	2	1	Mínimo $d(v_4, V_3) = 1$ ( $v_1$ )
$v_5$	$\sqrt{2}$	$\sqrt{2}$	1	$\sqrt{2}$	Mínimo $d(v_5, V_3) = 1$ ( $v_6$ )
$v_8$	$\sqrt{5}$	$\sqrt{5}$	$\sqrt{2}$	1	Mínimo $d(v_8, V_3) = 1$ ( $v_7$ )
$v_9$	$\sqrt{8}$	2	1	2	Mínimo $d(v_9, V_3) = 1$ ( $v_6$ )

Resultado da FO: 5

Adiciona-se em  $V_3$  o vértice  $v_2$ , logo tem-se  $V' = \{v_1, v_4, v_5, v_8, v_9\}$  e  $V_3 = \{v_2, v_3, v_6, v_7\}$ .

	$v_2$	$v_3$	$v_6$	$v_7$	
$v_1$	1	2	$\sqrt{5}$	2	Mínimo $d(v_1, V_3) = 1$ ( $v_2$ )
$v_4$	$\sqrt{2}$	$\sqrt{5}$	2	1	Mínimo $d(v_4, V_3) = 1$ ( $v_7$ )
$v_5$	1	$\sqrt{2}$	1	$\sqrt{2}$	Mínimo $d(v_5, V_3) = 1$ ( $v_6$ )
$v_8$	2	$\sqrt{5}$	$\sqrt{2}$	1	Mínimo $d(v_8, V_3) = 1$ ( $v_7$ )
$v_9$	$\sqrt{5}$	2	1	2	Mínimo $d(v_9, V_3) = 1$ ( $v_6$ )

Resultado da FO: 5

Adiciona-se em  $V_3$  o vértice  $v_4$ , logo tem-se  $V' = \{v_1, v_2, v_5, v_8, v_9\}$  e  $V_3 = \{v_3, v_4, v_6, v_7\}$

	$v_3$	$v_4$	$v_6$	$v_7$	
$v_1$	2	1	$\sqrt{5}$	2	Mínimo $d(v_1, V_3) = 1 (v_4)$
$v_2$	1	$\sqrt{2}$	$\sqrt{2}$	$\sqrt{5}$	Mínimo $d(v_2, V_3) = 1 (v_3)$
$v_5$	$\sqrt{2}$	1	1	$\sqrt{2}$	Mínimo $d(v_5, V_3) = 1 (v_6)$
$v_8$	$\sqrt{5}$	$\sqrt{2}$	$\sqrt{2}$	1	Mínimo $d(v_8, V_3) = 1 (v_7)$
$v_9$	2	$\sqrt{5}$	1	2	Mínimo $d(v_9, V_3) = 1 (v_6)$

Resultado da FO: 5

Adiciona-se em  $V_3$  o vértice  $v_5$ , logo tem-se  $V' = \{v_1, v_2, v_4, v_8, v_9\}$  e  $V_3 = \{v_3, v_5, v_6, v_7\}$

	$v_3$	$v_5$	$v_6$	$v_7$	
$v_1$	2	$\sqrt{2}$	$\sqrt{5}$	2	Mínimo $d(v_1, V_3) = 2 (v_3)$
$v_2$	1	1	$\sqrt{2}$	$\sqrt{5}$	Mínimo $d(v_2, V_3) = 1 (v_3)$
$v_4$	$\sqrt{5}$	1	2	1	Mínimo $d(v_4, V_3) = 1 (v_7)$
$v_8$	$\sqrt{5}$	1	$\sqrt{2}$	1	Mínimo $d(v_8, V_3) = 1 (v_5)$
$v_9$	2	$\sqrt{2}$	1	2	Mínimo $d(v_9, V_3) = 1 (v_6)$

Resultado da FO: 6

Adiciona-se em  $V_3$  o vértice  $v_8$ , logo tem-se  $V' = \{v_1, v_2, v_4, v_5, v_9\}$  e  $V_3 = \{v_3, v_6, v_7, v_8\}$

	$v_3$	$v_6$	$v_7$	$v_8$	
$v_1$	2	$\sqrt{5}$	2	$\sqrt{5}$	Mínimo $d(v_1, V_3) = 2 (v_3)$
$v_2$	1	$\sqrt{2}$	$\sqrt{5}$	2	Mínimo $d(v_2, V_3) = 1 (v_3)$
$v_4$	$\sqrt{5}$	2	1	$\sqrt{2}$	Mínimo $d(v_4, V_3) = 1 (v_7)$
$v_5$	$\sqrt{2}$	1	$\sqrt{2}$	1	Mínimo $d(v_5, V_3) = 1 (v_6)$
$v_9$	2	1	2	1	Mínimo $d(v_9, V_3) = 1 (v_8)$

Resultado da FO: 6

Adiciona-se em  $V_3$  o vértice  $v_9$ , logo tem-se  $V' = \{v_1, v_2, v_4, v_5, v_8\}$  e  $V_3 = \{v_3, v_6, v_7, v_9\}$

	$v_3$	$v_6$	$v_7$	$v_9$	
$v_1$	2	$\sqrt{5}$	2	$\sqrt{8}$	Mínimo $d(v_1, V_3) = 2 (v_3)$
$v_2$	1	$\sqrt{2}$	$\sqrt{5}$	$\sqrt{5}$	Mínimo $d(v_2, V_3) = 1 (v_3)$
$v_4$	$\sqrt{5}$	2	1	$\sqrt{5}$	Mínimo $d(v_4, V_3) = 1 (v_7)$
$v_5$	$\sqrt{2}$	1	$\sqrt{2}$	$\sqrt{2}$	Mínimo $d(v_5, V_3) = 1 (v_6)$
$v_8$	$\sqrt{5}$	$\sqrt{2}$	1	1	Mínimo $d(v_8, V_3) = 1 (v_9)$

Resultado da FO: 6



Logo após, seleciona-se o vértice de  $V'$  que, adicionado em  $V_3$ , resultou no melhor (menor) valor da função objetivo. Neste caso, temos  $v_1, v_2$  ou  $v_4$ , ambos com FO: 5. Escolhe-se então  $v_1$ . A solução inicial torna-se:  $V' = \{v_2, v_4, v_5, v_8, v_9\}$  e  $V_3 = \{v_1, v_3, v_6, v_7\}$

- **Movimento DROP (retira de  $V_3$  os vértices  $v_3, v_6$  e  $v_7$ ).**

Retira-se o vértice  $v_3$ , logo tem-se  $V' = \{v_2, v_4, v_5, v_8, v_9\}$  e  $V_3 = \{v_1, v_6, v_7\}$ .

	$v_1$	$v_6$	$v_7$	
$v_2$	1	$\sqrt{2}$	$\sqrt{5}$	Mínimo $d(v_2, V_3) = 1$ ( $v_1$ )
$v_3$	2	1	$\sqrt{8}$	Mínimo $d(v_3, V_3) = 1$ ( $v_6$ )
$v_4$	1	2	1	Mínimo $d(v_4, V_3) = 1$ ( $v_7$ )
$v_5$	$\sqrt{2}$	1	$\sqrt{2}$	Mínimo $d(v_5, V_3) = 1$ ( $v_6$ )
$v_8$	$\sqrt{5}$	$\sqrt{2}$	1	Mínimo $d(v_8, V_3) = 1$ ( $v_7$ )
$v_9$	$\sqrt{8}$	1	2	Mínimo $d(v_9, V_3) = 1$ ( $v_6$ )

Resultado da FO: 6

Retira-se o vértice  $v_6$ , logo tem-se  $V' = \{v_2, v_4, v_5, v_8, v_9\}$  e  $V_3 = \{v_1, v_3, v_7\}$ .

	$v_1$	$v_3$	$v_7$	
$v_2$	1	1	2	Mínimo $d(v_2, V_3) = 1$ ( $v_3$ )
$v_4$	1	$\sqrt{5}$	1	Mínimo $d(v_4, V_3) = 1$ ( $v_1$ )
$v_5$	$\sqrt{2}$	$\sqrt{2}$	$\sqrt{2}$	Mínimo $d(v_5, V_3) = \sqrt{2}$ ( $v_7$ )
$v_6$	$\sqrt{5}$	1	$\sqrt{5}$	Mínimo $d(v_6, V_3) = 1$ ( $v_3$ )
$v_8$	$\sqrt{5}$	$\sqrt{5}$	1	Mínimo $d(v_8, V_3) = 1$ ( $v_7$ )
$v_9$	$\sqrt{8}$	2	2	Mínimo $d(v_9, V_3) = 2$ ( $v_3$ )

Resultado da FO:  $6 + \sqrt{2}$

Retira-se o vértice  $v_7$ , logo tem-se  $V' = \{v_2, v_4, v_5, v_8, v_9\}$  e  $V_3 = \{v_1, v_3, v_6\}$ .

	$v_1$	$v_3$	$v_6$	
$v_2$	1	1	$\sqrt{2}$	Mínimo $d(v_2, V_3) = 1$ ( $v_3$ )
$v_4$	1	$\sqrt{5}$	2	Mínimo $d(v_4, V_3) = 1$ ( $v_1$ )
$v_5$	$\sqrt{2}$	$\sqrt{2}$	1	Mínimo $d(v_5, V_3) = 1$ ( $v_6$ )
$v_7$	2	$\sqrt{8}$	$\sqrt{5}$	Mínimo $d(v_7, V_3) = 2$ ( $v_1$ )
$v_8$	$\sqrt{5}$	$\sqrt{5}$	$\sqrt{2}$	Mínimo $d(v_8, V_3) = \sqrt{2}$ ( $v_6$ )
$v_9$	$\sqrt{8}$	2	1	Mínimo $d(v_9, V_3) = 1$ ( $v_6$ )

Resultado da FO:  $6 + \sqrt{2}$

Então, o vértice de  $V_3 = \{v_1, v_3, v_6, v_7\}$  que será retirado (movido para  $V'$ ) é o que resultou no menor valor de FO. Neste caso, é o vértice  $v_3$  com FO: 6. Portanto, a nova solução torna-se:  $V' = \{v_2, v_3, v_4, v_5, v_8, v_9\}$  e  $V_3 = \{v_1, v_6, v_7\}$ .

- **Movimento SWAP (considera-se todas as trocas possíveis  $V' \times V_3 = 6 \times 3 = 18$  trocas)**

Troca-se  $v_1 \leftrightarrow v_2$  logo  $V' = \{v_1, v_3, v_4, v_5, v_8, v_9\}$  e  $V_3 = \{v_2, v_6, v_7\}$ .

	$v_2$	$v_6$	$v_7$	
$v_1$	1	$\sqrt{5}$	2	Mínimo $d(v_1, V_3) = 1 (v_2)$
$v_3$	1	1	$\sqrt{8}$	Mínimo $d(v_3, V_3) = 1 (v_6)$
$v_4$	$\sqrt{2}$	2	1	Mínimo $d(v_4, V_3) = 1 (v_7)$
$v_5$	1	1	$\sqrt{2}$	Mínimo $d(v_5, V_3) = 1 (v_6)$
$v_8$	2	$\sqrt{8}$	1	Mínimo $d(v_8, V_3) = 1 (v_7)$
$v_9$	$\sqrt{5}$	1	2	Mínimo $d(v_9, V_3) = 1 (v_6)$

Resultado da FO: 6

Troca-se  $v_1 \leftrightarrow v_3$  logo  $V' = \{v_1, v_2, v_4, v_5, v_8, v_9\}$  e  $V_3 = \{v_3, v_6, v_7\}$

	$v_3$	$v_6$	$v_7$	
$v_1$	2	$\sqrt{5}$	2	Mínimo $d(v_1, V_3) = 2 (v_3)$
$v_2$	1	$\sqrt{2}$	$\sqrt{5}$	Mínimo $d(v_2, V_3) = 1 (v_3)$
$v_4$	$\sqrt{5}$	2	1	Mínimo $d(v_4, V_3) = 1 (v_7)$
$v_5$	$\sqrt{2}$	1	$\sqrt{2}$	Mínimo $d(v_5, V_3) = 1 (v_6)$
$v_8$	$\sqrt{5}$	$\sqrt{2}$	1	Mínimo $d(v_8, V_3) = 1 (v_7)$
$v_9$	2	1	2	Mínimo $d(v_9, V_3) = 1 (v_6)$

Resultado da FO: 7

Troca-se  $v_1 \leftrightarrow v_4$  logo  $V' = \{v_1, v_2, v_3, v_5, v_8, v_9\}$  e  $V_3 = \{v_4, v_6, v_7\}$

	$v_4$	$v_6$	$v_7$	
$v_1$	1	$\sqrt{5}$	2	Mínimo $d(v_1, V_3) = 1 (v_4)$
$v_2$	$\sqrt{2}$	$\sqrt{2}$	$\sqrt{5}$	Mínimo $d(v_2, V_3) = \sqrt{2} (v_6)$
$v_3$	$\sqrt{5}$	1	$\sqrt{8}$	Mínimo $d(v_3, V_3) = 1 (v_6)$
$v_5$	1	1	$\sqrt{2}$	Mínimo $d(v_5, V_3) = 1 (v_4)$
$v_8$	$\sqrt{2}$	$\sqrt{2}$	1	Mínimo $d(v_8, V_3) = 1 (v_7)$
$v_9$	$\sqrt{5}$	1	2	Mínimo $d(v_9, V_3) = 1 (v_6)$

Resultado da FO:  $5 + \sqrt{2}$

Troca-se  $v_1 \leftrightarrow v_5$  logo  $V' = \{v_1, v_2, v_3, v_4, v_8, v_9\}$  e  $V_3 = \{v_5, v_6, v_7\}$ .

	$v_5$	$v_6$	$v_7$	
$v_1$	$\sqrt{2}$	$\sqrt{5}$	2	Mínimo $d(v_1, V_3) = \sqrt{2} (v_5)$
$v_2$	1	$\sqrt{2}$	$\sqrt{5}$	Mínimo $d(v_2, V_3) = 1 (v_5)$
$v_3$	$\sqrt{2}$	1	$\sqrt{8}$	Mínimo $d(v_3, V_3) = 1 (v_6)$
$v_4$	1	2	1	Mínimo $d(v_4, V_3) = 1 (v_7)$
$v_8$	1	$\sqrt{2}$	1	Mínimo $d(v_8, V_3) = 1 (v_7)$
$v_9$	$\sqrt{2}$	1	2	Mínimo $d(v_9, V_3) = 1 (v_6)$

Resultado da FO:  $5 + \sqrt{2}$

Troca-se  $v_1 \leftrightarrow v_8$  logo  $V' = \{v_1, v_2, v_3, v_4, v_5, v_9\}$  e  $V_3 = \{v_6, v_7, v_8\}$ .

	$v_6$	$v_7$	$v_8$	
$v_1$	$\sqrt{5}$	2	$\sqrt{5}$	Mínimo $d(v_1, V_3) = 2(v_7)$
$v_2$	$\sqrt{2}$	$\sqrt{5}$	2	Mínimo $d(v_2, V_3) = \sqrt{2}(v_6)$
$v_3$	1	$\sqrt{8}$	$\sqrt{5}$	Mínimo $d(v_3, V_3) = 1(v_6)$
$v_4$	2	1	$\sqrt{2}$	Mínimo $d(v_4, V_3) = 1(v_7)$
$v_5$	1	$\sqrt{2}$	1	Mínimo $d(v_5, V_3) = 1(v_8)$
$v_9$	1	2	1	Mínimo $d(v_9, V_3) = 1(v_6)$

Resultado da FO:  $6 + \sqrt{2}$

Troca-se  $v_1 \leftrightarrow v_9$  logo  $V' = \{v_1, v_2, v_3, v_4, v_5, v_8\}$  e  $V_3 = \{v_6, v_7, v_9\}$

	$v_6$	$v_7$	$v_9$	
$v_1$	$\sqrt{5}$	2	$\sqrt{8}$	Mínimo $d(v_1, V_3) = 2(v_7)$
$v_2$	$\sqrt{2}$	$\sqrt{5}$	$\sqrt{5}$	Mínimo $d(v_2, V_3) = \sqrt{2}(v_6)$
$v_3$	1	$\sqrt{8}$	2	Mínimo $d(v_3, V_3) = 1(v_6)$
$v_4$	2	1	$\sqrt{5}$	Mínimo $d(v_4, V_3) = 1(v_7)$
$v_5$	1	$\sqrt{2}$	$\sqrt{2}$	Mínimo $d(v_5, V_3) = 1(v_6)$
$v_8$	$\sqrt{2}$	1	1	Mínimo $d(v_8, V_3) = 1(v_9)$

Resultado da FO:  $6 + \sqrt{2}$

Troca-se  $v_6 \leftrightarrow v_2$  logo  $V' = \{v_3, v_4, v_5, v_6, v_8, v_9\}$  e  $V_3 = \{v_1, v_2, v_7\}$ .

	$v_1$	$v_2$	$v_7$	
$v_3$	2	1	$\sqrt{8}$	Mínimo $d(v_3, V_3) = 1(v_2)$
$v_4$	1	$\sqrt{2}$	1	Mínimo $d(v_4, V_3) = 1(v_1)$
$v_5$	$\sqrt{2}$	1	$\sqrt{2}$	Mínimo $d(v_5, V_3) = 1(v_2)$
$v_6$	$\sqrt{5}$	$\sqrt{2}$	$\sqrt{5}$	Mínimo $d(v_6, V_3) = \sqrt{2}(v_2)$
$v_8$	$\sqrt{5}$	2	1	Mínimo $d(v_8, V_3) = 1(v_7)$
$v_9$	$\sqrt{8}$	$\sqrt{5}$	2	Mínimo $d(v_9, V_3) = 2(v_7)$

Resultado da FO:  $6 + \sqrt{2}$

Troca-se  $v_6 \leftrightarrow v_3$  logo  $V' = \{v_2, v_4, v_5, v_6, v_8, v_9\}$  e  $V_3 = \{v_1, v_3, v_7\}$

	$v_1$	$v_3$	$v_7$	
$v_2$	1	1	$\sqrt{5}$	Mínimo $d(v_2, V_3) = 1(v_1)$
$v_4$	1	$\sqrt{5}$	1	Mínimo $d(v_4, V_3) = 1(v_1)$
$v_5$	$\sqrt{2}$	$\sqrt{2}$	$\sqrt{2}$	Mínimo $d(v_5, V_3) = \sqrt{2}(v_3)$
$v_6$	$\sqrt{5}$	1	$\sqrt{5}$	Mínimo $d(v_6, V_3) = 1(v_3)$
$v_8$	$\sqrt{5}$	$\sqrt{5}$	1	Mínimo $d(v_8, V_3) = 1(v_7)$
$v_9$	$\sqrt{8}$	2	2	Mínimo $d(v_9, V_3) = 2(v_7)$

Resultado da FO:  $6 + \sqrt{2}$

Troca-se  $v_6 \leftrightarrow v_4$  logo  $V' = \{v_2, v_3, v_5, v_6, v_8, v_9\}$  e  $V_3 = \{v_1, v_4, v_7\}$ .

	$v_1$	$v_4$	$v_7$	
$v_2$	1	$\sqrt{2}$	$\sqrt{5}$	Mínimo $d(v_2, V_3) = 1(v_1)$
$v_3$	2	$\sqrt{5}$	$\sqrt{8}$	Mínimo $d(v_3, V_3) = 2(v_1)$
$v_5$	$\sqrt{2}$	1	$\sqrt{2}$	Mínimo $d(v_5, V_3) = 1(v_4)$
$v_6$	$\sqrt{5}$	2	$\sqrt{5}$	Mínimo $d(v_6, V_3) = 2(v_4)$
$v_8$	$\sqrt{5}$	$\sqrt{2}$	1	Mínimo $d(v_8, V_3) = 1(v_7)$
$v_9$	$\sqrt{8}$	$\sqrt{5}$	2	Mínimo $d(v_9, V_3) = 2(v_7)$

Resultado da FO: 9

Troca-se  $v_6 \leftrightarrow v_5$  logo  $V' = \{v_2, v_3, v_4, v_6, v_8, v_9\}$  e  $V_3 = \{v_1, v_5, v_7\}$ .

	$v_1$	$v_5$	$v_7$	
$v_2$	1	1	$\sqrt{5}$	Mínimo $d(v_2, V_3) = 1(v_1)$
$v_3$	2	$\sqrt{2}$	$\sqrt{8}$	Mínimo $d(v_3, V_3) = \sqrt{2}(v_5)$
$v_4$	1	1	1	Mínimo $d(v_4, V_3) = 1(v_1)$
$v_6$	$\sqrt{5}$	1	$\sqrt{5}$	Mínimo $d(v_6, V_3) = 1(v_5)$
$v_8$	$\sqrt{5}$	1	1	Mínimo $d(v_8, V_3) = 1(v_7)$
$v_9$	$\sqrt{8}$	$\sqrt{2}$	2	Mínimo $d(v_9, V_3) = \sqrt{2}(v_5)$

Resultado da FO:  $4 + 2\sqrt{2}$

Troca-se  $v_6 \leftrightarrow v_8$  logo  $V' = \{v_2, v_3, v_4, v_5, v_6, v_9\}$  e  $V_3 = \{v_1, v_7, v_8\}$ .

	$v_1$	$v_7$	$v_8$	
$v_2$	1	$\sqrt{5}$	2	Mínimo $d(v_2, V_3) = 1(v_1)$
$v_3$	2	$\sqrt{8}$	$\sqrt{5}$	Mínimo $d(v_3, V_3) = 2(v_1)$
$v_4$	1	1	$\sqrt{2}$	Mínimo $d(v_4, V_3) = 1(v_7)$
$v_5$	$\sqrt{2}$	$\sqrt{2}$	1	Mínimo $d(v_5, V_3) = 1(v_8)$
$v_6$	$\sqrt{5}$	$\sqrt{5}$	$\sqrt{2}$	Mínimo $d(v_6, V_3) = \sqrt{2}(v_8)$
$v_9$	$\sqrt{8}$	2	1	Mínimo $d(v_9, V_3) = 1(v_8)$

Resultado da FO:  $6 + \sqrt{2}$

Troca-se  $v_6 \leftrightarrow v_9$  logo  $V' = \{v_2, v_3, v_4, v_5, v_6, v_8\}$  e  $V_3 = \{v_1, v_7, v_9\}$ .

	$v_1$	$v_7$	$v_9$	
$v_2$	1	$\sqrt{5}$	$\sqrt{5}$	Mínimo $d(v_2, V_3) = 1(v_1)$
$v_3$	2	$\sqrt{8}$	2	Mínimo $d(v_3, V_3) = 2(v_1)$
$v_4$	1	1	$\sqrt{5}$	Mínimo $d(v_4, V_3) = 1(v_7)$
$v_5$	$\sqrt{2}$	$\sqrt{2}$	$\sqrt{2}$	Mínimo $d(v_5, V_3) = \sqrt{2}(v_9)$
$v_6$	$\sqrt{5}$	$\sqrt{5}$	1	Mínimo $d(v_6, V_3) = 1(v_9)$
$v_8$	$\sqrt{5}$	1	1	Mínimo $d(v_8, V_3) = 1(v_7)$

Resultado da FO:  $6 + \sqrt{2}$

Troca-se  $v_7 \leftrightarrow v_2$  logo  $V' = \{v_3, v_4, v_5, v_7, v_8, v_9\}$  e  $V_3 = \{v_1, v_2, v_6\}$ .

	$v_1$	$v_2$	$v_6$	
$v_3$	2	1	1	Mínimo $d(v_3, V_3) = 1(v_6)$
$v_4$	1	$\sqrt{2}$	2	Mínimo $d(v_4, V_3) = 1(v_1)$
$v_5$	$\sqrt{2}$	1	1	Mínimo $d(v_5, V_3) = 1(v_2)$
$v_7$	2	$\sqrt{5}$	$\sqrt{5}$	Mínimo $d(v_7, V_3) = 2(v_1)$
$v_8$	$\sqrt{5}$	2	$\sqrt{2}$	Mínimo $d(v_8, V_3) = \sqrt{2}(v_6)$
$v_9$	$\sqrt{8}$	$\sqrt{5}$	1	Mínimo $d(v_9, V_3) = 1(v_6)$

Resultado da FO:  $6 + \sqrt{2}$

Troca-se  $v_7 \leftrightarrow v_3$  logo  $V' = \{v_2, v_4, v_5, v_7, v_8, v_9\}$  e  $V_3 = \{v_1, v_3, v_6\}$ .

	$v_1$	$v_3$	$v_6$	
$v_2$	1	1	$\sqrt{2}$	Mínimo $d(v_2, V_3) = 1(v_3)$
$v_4$	1	$\sqrt{5}$	2	Mínimo $d(v_4, V_3) = 1(v_1)$
$v_5$	$\sqrt{2}$	$\sqrt{2}$	1	Mínimo $d(v_5, V_3) = 1(v_6)$
$v_7$	2	$\sqrt{8}$	$\sqrt{5}$	Mínimo $d(v_7, V_3) = 2(v_1)$
$v_8$	$\sqrt{5}$	$\sqrt{5}$	$\sqrt{2}$	Mínimo $d(v_8, V_3) = \sqrt{2}(v_6)$
$v_9$	$\sqrt{8}$	2	1	Mínimo $d(v_9, V_3) = 1(v_6)$

Resultado da FO:  $6 + \sqrt{2}$

Troca-se  $v_7 \leftrightarrow v_4$  logo  $V' = \{v_2, v_3, v_5, v_7, v_8, v_9\}$  e  $V_3 = \{v_1, v_4, v_6\}$ .

	$v_1$	$v_4$	$v_6$	
$v_2$	1	$\sqrt{2}$	$\sqrt{2}$	Mínimo $d(v_2, V_3) = 1(v_1)$
$v_3$	2	$\sqrt{5}$	1	Mínimo $d(v_3, V_3) = 1(v_6)$
$v_5$	$\sqrt{2}$	1	1	Mínimo $d(v_5, V_3) = 1(v_6)$
$v_7$	2	1	$\sqrt{5}$	Mínimo $d(v_7, V_3) = 1(v_4)$
$v_8$	$\sqrt{5}$	$\sqrt{2}$	$\sqrt{2}$	Mínimo $d(v_8, V_3) = \sqrt{2}(v_4)$
$v_9$	$\sqrt{8}$	$\sqrt{5}$	1	Mínimo $d(v_9, V_3) = 1(v_6)$

Resultado da FO:  $5 + \sqrt{2}$

Troca-se  $v_7 \leftrightarrow v_5$  logo  $V' = \{v_2, v_3, v_4, v_7, v_8, v_9\}$  e  $V_3 = \{v_1, v_5, v_6\}$ .

	$v_1$	$v_5$	$v_6$	
$v_2$	1	1	$\sqrt{2}$	Mínimo $d(v_2, V_3) = 1(v_1)$
$v_3$	2	$\sqrt{2}$	1	Mínimo $d(v_3, V_3) = 1(v_6)$
$v_4$	1	1	2	Mínimo $d(v_4, V_3) = 1(v_5)$
$v_7$	2	$\sqrt{2}$	$\sqrt{5}$	Mínimo $d(v_7, V_3) = \sqrt{2}(v_5)$
$v_8$	$\sqrt{5}$	1	$\sqrt{2}$	Mínimo $d(v_8, V_3) = 1(v_5)$
$v_9$	$\sqrt{8}$	$\sqrt{2}$	1	Mínimo $d(v_9, V_3) = 1(v_6)$

Resultado da FO:  $5 + \sqrt{2}$

Troca-se  $v_7 \leftrightarrow v_8$  logo  $V' = \{v_2, v_3, v_4, v_5, v_7, v_9\}$  e  $V_3 = \{v_1, v_6, v_8\}$ .

	$v_1$	$v_6$	$v_8$	
$v_2$	1	$\sqrt{2}$	2	Mínimo $d(v_2, V_3) = 1(v_1)$
$v_3$	2	1	$\sqrt{5}$	Mínimo $d(v_3, V_3) = 1(v_6)$
$v_4$	1	2	$\sqrt{2}$	Mínimo $d(v_4, V_3) = 1(v_1)$
$v_5$	$\sqrt{2}$	1	1	Mínimo $d(v_5, V_3) = 1(v_8)$
$v_7$	2	$\sqrt{5}$	1	Mínimo $d(v_7, V_3) = 1(v_8)$
$v_9$	$\sqrt{8}$	1	1	Mínimo $d(v_9, V_3) = 1(v_6)$

Resultado da FO: 6

Troca-se  $v_7 \leftrightarrow v_9$  logo  $V' = \{v_2, v_3, v_4, v_5, v_7, v_8\}$  e  $V_3 = \{v_1, v_6, v_9\}$ .

	$v_1$	$v_6$	$v_9$	
$v_2$	1	$\sqrt{2}$	$\sqrt{5}$	Mínimo $d(v_2, V_3) = 1(v_1)$
$v_3$	2	1	2	Mínimo $d(v_3, V_3) = 1(v_6)$
$v_4$	1	2	$\sqrt{5}$	Mínimo $d(v_4, V_3) = 1(v_1)$
$v_5$	$\sqrt{2}$	1	$\sqrt{2}$	Mínimo $d(v_5, V_3) = 1(v_6)$
$v_7$	2	$\sqrt{5}$	2	Mínimo $d(v_7, V_3) = 2(v_9)$
$v_8$	$\sqrt{5}$	$\sqrt{2}$	1	Mínimo $d(v_8, V_3) = 1(v_9)$

Resultado da FO: 7

Os dois vértices que serão selecionados para a troca, são os que resultaram no menor valor da FO, neste caso, tem-se as trocas  $v_1 \leftrightarrow v_2$  e  $v_7 \leftrightarrow v_8$  ambas com FO: 6. Será escolhido a última e a nova solução será  $V' = \{v_2, v_3, v_4, v_5, v_7, v_9\}$  e  $V_3 = \{v_1, v_6, v_8\}$ . A partir deste começa-se a 2ª iteração com os movimentos ADD, DROP, SWAP.

### B.3.6 Síntese do método

$$V_3 = \{v_3, v_6, v_7\} \quad V' = \{v_1, v_2, v_4, v_5, v_8, v_9\} \quad \text{FO} = 7$$

1ª ITERAÇÃO

Movimento ADD (cada vértice do conjunto  $V' = \{v_1, v_2, v_4, v_5, v_8, v_9\}$  será adicionado em  $V_3$ ).

$$v_1 \quad V' = \{v_2, v_4, v_5, v_8, v_9\} \text{ e } V_3 = \{v_1, v_3, v_6, v_7\} \quad \text{FO} = 5$$

$$v_2 \quad V' = \{v_1, v_4, v_5, v_8, v_9\} \text{ e } V_3 = \{v_2, v_3, v_6, v_7\} \quad \text{FO} = 5$$

$$v_4 \quad V' = \{v_1, v_2, v_5, v_8, v_9\} \text{ e } V_3 = \{v_3, v_4, v_6, v_7\} \quad \text{FO} = 5$$

$$v_5 \quad V' = \{v_1, v_2, v_4, v_8, v_9\} \text{ e } V_3 = \{v_3, v_5, v_6, v_7\} \quad \text{FO} = 6$$

$$v_8 \quad V' = \{v_1, v_2, v_4, v_5, v_9\} \text{ e } V_3 = \{v_3, v_6, v_7, v_8\} \quad \text{FO} = 6$$

$$v_9 \quad V' = \{v_1, v_2, v_4, v_5, v_8\} \text{ e } V_3 = \{v_3, v_6, v_7, v_9\} \quad \text{FO} = 6$$

Logo após, seleciona-se o vértice de  $V'$  que, adicionado em  $V_3$ , resultou no melhor (menor) valor da função objetivo. Neste caso, temos  $v_1, v_2$  ou  $v_4$ , ambos com FO: 5. Escolhe-se então  $v_1$ . A solução inicial torna-se:  $V' = \{v_2, v_4, v_5, v_8, v_9\}$  e  $V_3 = \{v_1, v_3, v_6, v_7\}$

**Lista Tabu** =  $\{v_1\}$

Movimento DROP (retira de  $V_3$  os vértices  $v_3, v_6$  e  $v_7$ ).

Retiro o vértice  $v_3$ , logo tem-se  $V' = \{v_2, v_4, v_5, v_8, v_9\}$  e  $V_3 = \{v_1, v_6, v_7\}$  FO = 6

Retiro o vértice  $v_6$ , logo tem-se  $V' = \{v_2, v_4, v_5, v_8, v_9\}$  e  $V_3 = \{v_1, v_3, v_7\}$  FO =  $6 + \sqrt{2}$

Retiro o vértice  $v_7$ , logo tem-se  $V' = \{v_2, v_4, v_5, v_8, v_9\}$  e  $V_3 = \{v_1, v_3, v_6\}$  FO =  $6 + \sqrt{2}$

Então, o vértice de  $V_3 = \{v_1, v_3, v_6, v_7\}$  que será retirado (movido para  $V'$ ) é o que resultou no menor valor de FO. Neste caso, é o vértice  $v_3$  com FO: 6. Portanto, a nova solução torna-se:  $V' = \{v_2, v_3, v_4, v_5, v_8, v_9\}$  e  $V_3 = \{v_1, v_6, v_7\}$ .

**Lista Tabu** =  $\{v_1, v_3\}$

Movimento SWAP (considera-se todas as trocas possíveis  $V' \times V_3 = 6 \times 3 = 18$  trocas)

Troca-se  $v_1 \leftrightarrow v_2$  logo  $V' = \{v_1, v_3, v_4, v_5, v_8, v_9\}$  e  $V_3 = \{v_2, v_6, v_7\}$  FO: 6

Troca-se  $v_1 \leftrightarrow v_3$  logo  $V' = \{v_1, v_2, v_4, v_5, v_8, v_9\}$  e  $V_3 = \{v_3, v_6, v_7\}$  FO: 7

Troca-se  $v_1 \leftrightarrow v_4$  logo  $V' = \{v_1, v_2, v_3, v_5, v_8, v_9\}$  e  $V_3 = \{v_4, v_6, v_7\}$  FO:  $5 + \sqrt{2}$

Troca-se  $v_1 \leftrightarrow v_5$  logo  $V' = \{v_1, v_2, v_3, v_4, v_8, v_9\}$  e  $V_3 = \{v_5, v_6, v_7\}$  FO:  $5 + \sqrt{2}$

Troca-se  $v_1 \leftrightarrow v_8$  logo  $V' = \{v_1, v_2, v_3, v_4, v_5, v_9\}$  e  $V_3 = \{v_6, v_7, v_8\}$  FO:  $6 + \sqrt{2}$

Troca-se  $v_1 \leftrightarrow v_9$  logo  $V' = \{v_1, v_2, v_3, v_4, v_5, v_8\}$  e  $V_3 = \{v_6, v_7, v_9\}$  FO:  $6 + \sqrt{2}$

Troca-se  $v_6 \leftrightarrow v_2$  logo  $V' = \{v_3, v_4, v_5, v_6, v_8, v_9\}$  e  $V_3 = \{v_1, v_2, v_7\}$  FO:  $6 + \sqrt{2}$

Troca-se  $v_6 \leftrightarrow v_3$  logo  $V' = \{v_2, v_4, v_5, v_6, v_8, v_9\}$  e  $V_3 = \{v_1, v_3, v_7\}$  FO:  $6 + \sqrt{2}$

Troca-se  $v_6 \leftrightarrow v_4$  logo  $V' = \{v_2, v_3, v_5, v_6, v_8, v_9\}$  e  $V_3 = \{v_1, v_4, v_7\}$  FO: 9

Troca-se  $v_6 \leftrightarrow v_5$  logo  $V' = \{v_2, v_3, v_4, v_6, v_8, v_9\}$  e  $V_3 = \{v_1, v_5, v_7\}$  FO:  $4 + 2\sqrt{2}$

Troca-se  $v_6 \leftrightarrow v_8$  logo  $V' = \{v_2, v_3, v_4, v_5, v_6, v_9\}$  e  $V_3 = \{v_1, v_7, v_8\}$  FO:  $6 + \sqrt{2}$

Troca-se  $v_6 \leftrightarrow v_9$  logo  $V' = \{v_2, v_3, v_4, v_5, v_6, v_8\}$  e  $V_3 = \{v_1, v_7, v_9\}$  FO:  $6 + \sqrt{2}$

Troca-se  $v_7 \leftrightarrow v_2$  logo  $V' = \{v_3, v_4, v_5, v_7, v_8, v_9\}$  e  $V_3 = \{v_1, v_2, v_6\}$  FO:  $6 + \sqrt{2}$

Troca-se  $v_7 \leftrightarrow v_3$  logo  $V' = \{v_2, v_4, v_5, v_7, v_8, v_9\}$  e  $V_3 = \{v_1, v_3, v_6\}$  FO:  $6 + \sqrt{2}$

Troca-se  $v_7 \leftrightarrow v_4$  logo  $V' = \{v_2, v_3, v_5, v_7, v_8, v_9\}$  e  $V_3 = \{v_1, v_4, v_6\}$  FO:  $5 + \sqrt{2}$

Troca-se  $v_7 \leftrightarrow v_5$  logo  $V' = \{v_2, v_3, v_4, v_7, v_8, v_9\}$  e  $V_3 = \{v_1, v_5, v_6\}$  FO:  $5 + \sqrt{2}$

Troca-se  $v_7 \leftrightarrow v_8$  logo  $V' = \{v_2, v_3, v_4, v_5, v_7, v_9\}$  e  $V_3 = \{v_1, v_6, v_8\}$  FO: 6

Troca-se  $v_7 \leftrightarrow v_9$  logo  $V' = \{v_2, v_3, v_4, v_5, v_7, v_8\}$  e  $V_3 = \{v_1, v_6, v_9\}$  FO: 7

Os dois vértices que serão selecionados para a troca, são os que resultaram no menor valor da FO, neste caso, tem-se as trocas  $v_1 \leftrightarrow v_2$  e  $v_7 \leftrightarrow v_8$  ambas com FO: 6. Será escolhido a última e a nova solução será  $V' = \{v_2, v_3, v_4, v_5, v_7, v_9\}$  e  $V_3 = \{v_1, v_6, v_8\}$ . A partir deste começa-se a 2ª iteração com os movimentos ADD, DROP, SWAP.

**Lista Tabu** =  $\{v_1, v_3, v_7, v_8\}$ .

**APÊNDICE C**

**MATRIZ DAS DISTÂNCIAS**



A Tabela C.1 representa a matriz  $d[i, j]_{126 \times 126}$  das distâncias entre todos os trechos de quadra, porém optou-se em colocar apenas uma amostra devido a sua extensão ser de aproximadamente 40 páginas.

Tabela C.1 – Matriz das distâncias

MATRIZ DAS DISTÂNCIAS EUCLIDIANAS MULTIPLICADA PELO FATOR DE CORREÇÃO (1,35)							
PONTO	1	2	3	4	...	125	126
1	0	91,50449	113,5085	132,3904	...	243,0625	274,0477
2	91,50449	0	25,23623	98,40656	...	316,7654	315,5411
3	113,5085	25,23623	0	87,98163	...	328,5781	317,2833
4	132,3904	98,40656	87,98163	0	...	276,1474	239,0578
5	212,2115	131,5494	106,3717	110,5066	...	386,5326	337,9576
6	234,9401	185,5926	165,7384	102,5678	...	338,977	261,8528
7	301,3446	222,9855	197,8097	184,9755	...	450,984	379,7795
8	321,5654	243,0964	217,9026	204,2605	...	468,0118	393,3563
9	338,0001	283,8382	261,7938	205,6318	...	418,0625	317,9258
10	392,3961	347,096	326,4063	261,2272	...	436,9671	322,2131
11	421,8446	398,3953	382,1249	302,0682	...	402,866	273,9971
12	433,3732	384,2575	362,6566	301,5153	...	479,5916	362,7819
13	446,7832	396,4198	374,5453	314,7572	...	493,9659	376,7199
14	483,3394	452,7864	434,6364	359,1078	...	470,7308	341,0393
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
123	324,8535	386,3049	393,3669	325,3739	...	98,51969	105,1324
124	330,6101	387,3918	392,9464	321,357	...	115,5953	91,24023
125	243,0625	316,7654	328,5781	276,1474	...	0	132,742
126	274,0477	315,5411	317,2833	239,0578	...	132,742	0

**APÊNDICE D**

**PSEUDOCÓDIGO (PASSOS DO SOFTWARE)**

### **1 - Inicializar Base de Dados:**

- Carregar Arquivo dos Pontos (nome do ponto, coordenadas, medida do trecho de quadra, taxa de ocupação, número de vagas);
- Carregar Arquivo do Mapa (coordenadas e cores das linhas, nome das ruas);
- Calcular a matriz das menores distâncias com o fator de correção utilizando-se do algoritmo de Floyd;

### **2 - Calcular Setores:**

- Para o número de Ciclos;
  - Escolher uma solução inicial aleatória;
  - Calcular Setores pelo algoritmo Teitz & Bart; (quando opção selecionada).
  - Calcular Setores pelo algoritmo Busca Tabú; (quando opção selecionada).
- Fim Para;
- Salvar Melhor Ciclo;

### **3 - Calcular Áreas:**

- Para o número de Ciclos;
  - Escolher uma solução inicial aleatória;
  - Se Melhor Ciclo for Teitz & Bart Então
    - Calcular Áreas pelo algoritmo Teitz & Bart;
  - Senão
    - Calcular Áreas pelo algoritmo Busca Tabú;
- Fim Para;
- Salvar Melhor Solução;

### **4 - Calcular Designação dos Setores;**

- Utilizar método húngaro modificado;

### **5 - Calcular Designação das Áreas;**

- Utilizar método húngaro modificado;

### **6 - Plotar Resultados;**

- Plotar Setores;
  - Plotar Designação dos Setores;
- Plotar Áreas;
  - Plotar Designação das Áreas;

### **7 - Publicar Resultados;**

- Mostrar Resultados de Cálculo;
- Salvar Resultados de Cálculo em Arquivo;

**APÊNDICE E**

**DEMANDA DOS CENÁRIOS**

## E. 1 – Demanda referente ao cenário I de cada trecho de quadra

É importante lembrar que a demanda a ser utilizada na designação é apenas dos 106 trechos de quadra, com exceção das 20 medianas e a capacidade é somente do conjunto de medianas encontrado no Capítulo VI.

Tabela E.1 – Demanda e taxa de ocupação

Pontos ou trecho $i$	Taxa de ocupação $T_i$	Demanda $D_i$	Pontos ou trecho $i$	Taxa de ocupação $T_i$	Demanda $D_i$
1	0,6	7,8	36	0,6	45
2	0,3	2,4	37	1	40
3	0,3	3,3	38	1	38
4	0,6	7,2	39	1	23
5	0,3	2,7	40	1	16
6	0,6	5,4	41	0,6	6
7	0,6	18	42	0,6	3
8	0,6	12,6	43	1	10
9	0,6	3,6	44	0,6	6
10	1	7	45	0,3	4,2
11	1	8	46	0,3	4,2
12	1	6	47	0,3	4,5
13	0,6	4,2	48	0,3	3
14	1	15	49	0,3	1,5
15	1	13	50	1	19
16	0,6	4,2	51	0,3	2,7
17	1	7	52	0,3	3,3
18	1	13	53	0,3	6
19	1	15	54	0,3	4,5
20	1	8	55	0,3	1,5
21	1	8	56	0,6	7,8
22	0,3	5,1	57	1	9
23	1	25	58	1	14
24	1	22	59	1	9
25	0,3	6	60	1	10
26	0,3	1,2	61	1	55
27	0,3	1,8	62	1	9
28	0,6	7,8	63	1	11
29	0,6	5,4	64	1	4
30	0,6	1,8	65	1	9
31	0,6	3,6	66	1	9
32	0,6	3,6	67	0,6	4,2

33	0,6	4,8	68	0,6	4,2
34	0,6	4,2	69	1	20
35	0,6	6	70	0,6	4,8
71	1	19	99	1	10
72	1	7	100	1	9
73	0,6	3,6	101	1	12
74	0,6	3,6	102	1	12
75	0,6	3,6	103	1	9
76	0,3	3,3	104	1	13
77	0,3	3,3	105	1	10
78	1	14	106	0,6	9
79	1	11	107	0,6	6,6
80	0,3	4,5	108	0,3	0,9
81	1	7	109	0,6	6
82	1	6	110	0,3	4,5
83	1	13	111	0,3	2,7
84	1	12	112	0,3	3,6
85	1	7	113	0,3	3
86	1	7	114	0,3	2,7
87	1	5	115	0,3	3,9
88	1	7	116	0,3	3,6
89	1	6	117	0,3	1,8
90	1	7	118	0,3	1,8
91	1	7	119	0,6	4,8
92	1	8	120	0,6	6
93	1	12	121	0,3	4,2
94	1	9	122	0,3	5,4
95	1	18	123	0,6	9
96	1	10	124	0,6	8,4
97	0,6	10,2	125	1	12
98	1	10	126	1	11

## E. 2 – Demanda referente ao cenário II de cada trecho de quadra

Tabela E.2 – Demanda e taxa de ocupação

Pontos ou trecho $i$	Taxa de ocupação $T_i$	Demanda $D_i$	Pontos ou trecho $i$	Taxa de ocupação $T_i$	Demanda $D_i$
1	0,8	10,4	36	0,8	60
2	0,4	3,2	37	1	40
3	0,4	4,4	38	1	38
4	0,8	9,6	39	1	23
5	0,4	3,6	40	1	16
6	0,8	7,2	41	0,8	8
7	0,8	24	42	0,8	4
8	0,8	16,8	43	1	10
9	0,8	4,8	44	0,8	8
10	1	7	45	0,4	5,6
11	1	8	46	0,4	5,6
12	1	6	47	0,4	6
13	0,8	5,6	48	0,4	4
14	1	15	49	0,4	2
15	1	13	50	1	19
16	0,8	5,6	51	0,4	3,6
17	1	7	52	0,4	4,4
18	1	13	53	0,4	8
19	1	15	54	0,4	6
20	1	8	55	0,4	2
21	1	8	56	0,8	10,4
22	0,4	6,8	57	1	9
23	1	25	58	1	14
24	1	22	59	1	9
25	0,4	8	60	1	10
26	0,4	1,6	61	1	55
27	0,4	2,4	62	1	9
28	0,8	10,4	63	1	11
29	0,8	7,2	64	1	4
30	0,8	2,4	65	1	9
31	0,8	4,8	66	1	9
32	0,8	4,8	67	0,8	5,6
33	0,8	6,4	68	0,8	5,6
34	0,8	5,6	69	1	20
35	0,8	8	70	0,8	6,4
71	1	19	99	1	10
72	1	7	100	1	9
73	0,8	4,8	101	1	12

74	0,8	4,8	102	1	12
75	0,8	4,8	103	1	9
76	0,4	4,4	104	1	13
77	0,4	4,4	105	1	10
78	1	14	106	0,8	12
79	1	11	107	0,8	8,8
80	0,4	6	108	0,4	1,2
81	1	7	109	0,8	8
82	1	6	110	0,4	6
83	1	13	111	0,4	3,6
84	1	12	112	0,4	4,8
85	1	7	113	0,4	4
86	1	7	114	0,4	3,6
87	1	5	115	0,4	5,2
88	1	7	116	0,4	4,8
89	1	6	117	0,4	2,4
90	1	7	118	0,4	2,4
91	1	7	119	0,8	6,4
92	1	8	120	0,8	8
93	1	12	121	0,4	5,6
94	1	9	122	0,4	7,2
95	1	18	123	0,8	12
96	1	10	124	0,8	11,2
97	0,8	13,6	125	1	12
98	1	10	126	1	11