

REGINALDO SANTA ROSA

APLICAÇÃO DE P-MEDIANAS PARA ATENDIMENTO AOS COLÉGIOS
ESTADUAIS POR VIATURAS DO BATALHÃO DE PATRULHA ESCOLAR.

CURITIBA

2011

REGINALDO SANTA ROSA

APLICAÇÃO DE P-MEDIANAS PARA ATENDIMENTO AOS COLÉGIOS
ESTADUAIS POR VIATURAS DO BATALHÃO DE PATRULHA ESCOLAR.

Dissertação apresentada como requisito parcial
à obtenção do grau de Mestre em Ciências.

Programa de Pós-Graduação em Métodos
Numéricos em Engenharia – Programação
Matemática, Setor de Tecnologia e de Ciências
Exatas, Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Arinei Carlos Lindbeck da
Silva.

CURITIBA

2011

TERMO DE APROVAÇÃO

REGINALDO SANTA ROSA

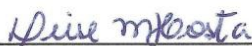
APLICAÇÃO DE P-MEDIANAS PARA ATENDIMENTO AOS COLÉGIOS
ESTADUAIS POR VIATURAS DO BATALHÃO DE PATRULHA ESCOLAR.

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre no curso de Pós-Graduação em Métodos Numéricos em Engenharia – Área de concentração Programação Matemática, Setores de Tecnologia e Ciências Exatas da Universidade Federal do Paraná, pela seguinte banca examinadora:

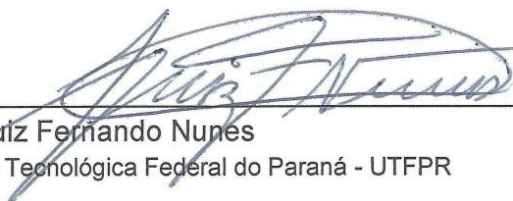
Orientador:



Prof. Dr. Arinei Carlos Lindbeck da Silva
Programa de Pós-Graduação em Métodos Numéricos em Engenharia - UFPR



Profª Dra. Deise Maria Bertoldi Costa
Programa de Pós-Graduação em Métodos Numéricos em Engenharia - UFPR



Prof. Dr. Luiz Fernando Nunes
Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR

Curitiba, 28 de setembro de 2011.

*À minha esposa Adriana M. Magalhães, por
toda paciência e compreensão.*

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais pelos pensamentos positivos, carinho e estímulo que me ofereceram.

Aos colegas de turmas, em especial aos amigos Renato, Flávia e Paula, pelo companheirismo durante o curso.

Aos professores do programa que ajudaram a sanar as dúvidas, em especial a Prof^a Deise Maria Bertoldi Costa.

À ajuda prestimosa de meu orientador, pela paciência e saber encaminhar nos estudos.

À querida Maristela, pelo sua simpatia e enorme disposição na secretária.

À ex-comandante do Batalhão de Patrulha Escolar, Sra. Ten.-Cel. PM RR Rita Aparecida de Oliveira por ter autorizado os estudos iniciais, e ao Sr. Ten-Cel. Douglas Sabatini Dabul, comandante do BPEC, por permitir a sequência dos estudos.

Ao Sr. Cap. Dalton Gean Perovano, por ter permitido e sempre incentivado nos anos de estudo.

Ao Sr. Sgt. Zipperer, por compreender as ausências e ajustar as escalas de serviço aos estudos.

RESUMO

O objetivo deste trabalho é comparar a atual distribuição dos colégios estaduais atendidos pelas equipes\viaturas do Batalhão de Patrulha Escolar Comunitária (BPEC) no município de Curitiba/PR, utilizando o problema das p-medianas como nova proposta de designação, reagrupando os setores de forma a ficar distribuída uniformemente a quantidade de colégios por viatura. Também foi verificado se é possível realizar a designação com a capacidade de cada equipe adotando-se o número de alunos por viatura. Por fim, foi elaborado um aplicativo para uso diário pelo Batalhão, para possibilitar de maneira dinâmica realizar novas distribuições dos setores onde cada equipe deve atender caso aumente ou diminua a quantidade de equipes de serviço disponível, bem como aumente o número de estabelecimentos de ensino. Foram mapeados todos os 164 estabelecimentos de ensino estadual, e através de suas coordenadas geodésicas foi possível obter as distâncias euclidianas entre eles, para utilizar na implementação dos algoritmos exato e heurístico. Verificou-se melhora em todas as simulações, que abordaram três formas diferentes de agrupamento, sendo a Geral BPEC, que adota todos os colégios, sem nenhuma restrição quanto a localidade de atuação das equipes, a Pelotão BPEC, que respeita as posições dos colégios conforme a localização dentro de cada pelotão, e a última forma foi semelhante a atual, que respeita a área de atuação de cada viatura, conforme as unidades operacionais de área, que são os batalhões de polícia militar. O algoritmo exato, como já esperado demorou um tempo grande, passando de dez horas sem chegar ao ótimo global para apresentar resultados e representou uma melhoria de 20% no percurso com a nova designação para visitar todos os estabelecimentos de ensino. O desempenho do algoritmo heurístico também foi satisfatório, pois além de não necessitar de utilização de outro aplicativo comercial, ficou entre apenas 4% a 7% em relação ao apresentado pelo algoritmo exato. Conclui-se que existe a necessidade de rever a forma de distribuição da abrangência de cada pelotão para se chegar aos resultados encontrados.

Palavras chaves: Problema das p-medianas, Roteamento de Veículos, Programação Linear Inteira Binária, Colégios.

ABSTRACT

The objective of this study is to compare the distribution of actual state schools attended by teams/patrol cars Battalion School Community (BPEC) in the municipality of Curitiba / PR, using the p-median problem as a new proposal for the appointment by regrouping sectors so that it's evenly distributed the number of colleges per vehicle. The study also tested if it is possible to perform the assignment with the ability of each team taking the number of students per car. Finally, an application was designed for daily use by the Battalion, to enable dynamically achieve new distributions of sectors where each team must meet if it increases or decreases the amount of service teams available as well as increase the number of schools. All the 164 schools statewide have been mapped, and through it's geodetic coordinates it was possible to obtain the Euclidean distances between them, to use in the implementation of exact and heuristic algorithms. There was improvement in all the simulations, which addressed three different ways of grouping, the General BPEC, which adopts all schools, with no restrictions on the location of work teams, the Platoon BPEC, that regards the positions of the schools as location inside each platoon, and the last form was similar to today, with regard each vehicle operation area, according to area operational units, which are the military police battalions. The exact algorithm, as expected took a long time, passing ten hours without reaching the global optimum to present results and represented a 20% improvement in route with a new designation to visit all the schools. The heuristic algorithm performance was also satisfactory, was not necessary to use another commercial application, and it's result was among 4% to 7% compared to that presented by the exact algorithm. It's possible to conclude that there is need to review each platoon distribution coverage to reach the results found in this study.

Keywords: p-median Problem, Vehicle Routing, Binary Integer Linear Programming, School.

LISTA DE SIGLAS

PMPR – Polícia Militar do Paraná.

CRPM – Comando Regional de Polícia Militar.

BPEC – Batalhão de Patrulha Escolar Comunitária.

OPM – Organização Policial Militar.

BPM – Batalhão de Polícia Militar.

CBB – Corpo de Bombeiros Militar.

GB – Grupamento de Bombeiros.

RPA – Radio Patrulha.

Cia.PM – Companhia de Polícia Militar.

Pel.PM – Pelotão de Polícia Militar.

Dst .PM – Destacamento de Polícia Militar.

12º BPM - Décimo Segundo Batalhão de Polícia Militar.

13º BPM - Décimo Terceiro Batalhão de Polícia Militar.

17º BPM – Décimo Sétimo Batalhão de Polícia Militar.

20º BPM - Vigésimo Batalhão de Polícia Militar.

UOA - Unidade Operacional de Área

SEED – Secretaria de Estado de Educação do Paraná.

P/3 – Setor de Planejamento, Estatística e Operações de uma OPM.

CIOSP - Centro Integrado de Operações de Segurança Pública .

COPOM - Coordenação Operações Policial Militar.

LINGO – Languagem for Interactive Optimizer.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 - Organograma estrutural da PMPR.....	22
Figura 02 - Hierarquia das unidades de um BPM.....	23
Figura 03 - Área de atuação do 12º BPM, 13º BPM e 20º BPM.....	24
Figura 04 - Divisão dos pelotões no município de Curitiba/PR.....	32
Figura 05 - Organograma referente à Coordenação da PMPR no SIOSP.....	33
Figura 06 - Exemplo de uma pequena rede para o problema das p-medianas.	41
Figura 07 - Jogo proposto por Willian Rowan Hamilton	52
Figura 08 - PCV.....	53
Figura 09 - Grafo.....	56
Figura 10 - Inserção do vizinho mais próximo.....	56
Figura 11 - Exemplo da melhoria de rota 2 K-opt	58
Figura 12 - Escala de serviço diária Curitiba/PR.....	61
Figura 13 - Marcador com as coordenadas sexagesimais.....	62
Figura 14 - Colégios estaduais em Curitiba/PR.....	63
Figura 15 - Tela aplicativo Tcgeo.....	65
Figura 16 - Tela do aplicativo “DesignaPEC”.....	68
Figura 17 - Critério de agrupamento no “DesignaPEC”.....	69
Figura 18 - Margem de alunos.....	73
Figura 19 - Gráfico com designação por alunos, margem de zero alunos.....	73
Figura 20 - Gráfico com designação por alunos, margem de 500 alunos.....	74
Figura 21 - Turno de serviço.....	74
Figura 22 - Situação atual.....	75
Figura 23 - Critério de algoritmo no “DesignaPEC”	77
Figura 24 - Modelo no LINGO, problema das p-medianas.....	80
Figura 25 - Modelo no LINGO, problema de roteamento de veículos.....	80
Figura 26 - Roteamento da atual situação no 1º turno, algoritmo exato.....	82
Figura 27 - Roteamento da atual situação no 2º turno, algoritmo exato.....	83
Figura 28 - Roteamento da atual situação no 1º turno, algoritmo heurístico.....	84
Figura 29 - Roteamento da atual situação no 2º turno, algoritmo heurístico.....	85

Figura 30 - Resultado algoritmo exato, colégios/viatura, Geral BPEC, 1º turno	86
Figura 31 - Resultado algoritmo exato, colégios/viatura, Geral BPEC, 2º turno	87
Figura 32 - Resultado heurístico, colégios/viaturas, Geral BPEC, 1º turno.....	88
Figura 33 - Resultado heurístico, colégios/viaturas, Geral BPEC, 2º turno.....	89
Figura 34 - Resultado exato, colégios/viaturas, Pelotão BPEC, 1º turno.....	90
Figura 35 - Resultado exato, colégios/viaturas, Pelotão BPEC, 2º turno.....	90
Figura 36 - Resultado heurístico, colégios/viaturas, Pelotão BPEC, 1º turno....	91
Figura 37- Resultado heurístico, colégios/viaturas, Pelotão BPEC, 2º turno....	92
Figura 38 - Resultado exato, colégios/viaturas, UOA, 1º turno.....	93
Figura 39 - Resultado exato, colégios/viaturas, UOA, 2º turno.....	94
Figura 40 - Resultado heurístico, colégios/viaturas, UOA, 1º turno.....	94
Figura 41 - Resultado heurístico, colégios/viaturas, UOA, 2º turno.....	95
Figura 42 - Resultado algoritmo exato, alunos/viatura, Geral BPEC, 1º turno....	96
Figura 43 - Resultado algoritmo exato, alunos/viatura, Geral BPEC, 2º turno...	97
Figura 44 - Designação heurística com margem de alunos zero, alunos/viatura, Geral BPEC, 1º turno.....	98
Figura 45 - Designação heurística, alunos/viatura, Geral BPEC, 1º turno.....	99
Figura 46 - Designação heurística com margem de alunos zero, alunos\viatura, Geral BPEC, 2º turno.....	99
Figura 47 - Designação heurística, alunos\viatura, Geral BPEC, 2º turno.....	100
Figura 48 - Resultado exato, alunos/ viatura, Pelotão BPEC, 1º turno.....	101
Figura 49 - Resultado exato, alunos/ viatura, Pelotão BPEC, 2º turno.....	102
Figura 50 - Resultado heurístico, alunos/ viatura, Pelotão BPEC, 1º turno.....	103
Figura 51 - Resultado heurístico, alunos/ viatura, Pelotão BPEC, 2º turno.....	104
Figura 52 - Resultado exato, alunos/ viatura, UOA, 1º turno.....	105
Figura 53 - Resultado exato, alunos/ viatura, UOA, 2º turno.....	106
Figura 54 - Resultado heurístico, alunos/ viatura, UOA, 2º turno.....	107
Figura 55 - Resultado heurístico, alunos/ viatura, UOA, 2º turno.....	107

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 - Municípios de cada Cia. PM/BPEC.....	29
Tabela 02 - Bairros dos colégios do 1º Pel./1ª Cia.PM/BPEC.....	30
Tabela 03 - Bairros dos colégios do 2º Pel./1ª Cia.PM/BPEC.....	31
Tabela 04 - Trabalhos sobre o PCV.....	54
Tabela 05 - Coordenadas geodésicas.....	64
Tabela 06 - Distribuição atual dos colégios de Curitiba/PR, 1º turno.....	66
Tabela 07 - Distribuição atual dos colégios de Curitiba/PR, 2º turno.....	66
Tabela 08 - Esquema comparação de resultados.....	75
Tabela 09 - Resultado atual dos colégios, algoritmo exato, 1º turno.....	82
Tabela 10 - Resultado atual dos colégios, algoritmo exato, 2º turno.....	83
Tabela 11 - Resultado atual dos colégios, algoritmo heurístico, 1º turno.....	84
Tabela 12 - Resultado atual dos colégios, algoritmo heurístico, 2º turno.....	85
Tabela 13 - Resultado algoritmo exato, colégios/viatura, Geral BPEC, 1º turno.....	86
Tabela 14 - Resultado algoritmo exato, colégios/viatura, Geral BPEC, 2º turno.....	87
Tabela 15 - Resultado algoritmo exato, colégios/viaturas, Geral BPEC, 1º turno.....	88
Tabela 16 - Resultado algoritmo exato, colégios/viaturas, Geral BPEC, 2º turno.....	88
Tabela 17 - Resultado exato, colégios/viatura, Pelotão BPEC, 1º turno.....	89
Tabela 18 - Resultado exato, colégios/viatura, Pelotão BPEC, 2º turno.....	90
Tabela 19 - Resultado heurístico, colégios/viatura, Pelotão BPEC, 1º turno.....	91
Tabela 20 - Resultado heurístico, colégios/viatura, Pelotão BPEC, 2º turno.....	91
Tabela 21 - Resultado exato, colégios/viatura, UOA, 1º turno.....	92

Tabela 22 - Resultado exato, colégios/viatura, UOA, 2º turno.....	93
Tabela 23 - Resultado heurístico, colégios/viatura, UOA, 1º turno.....	94
Tabela 24 - Resultado heurístico, colégios/viatura, UOA, 2º turno.....	95
Tabela 25 - Resultado exato, alunos/ viatura, Geral BPEC, 1º turno.....	96
Tabela 26 - Resultado exato, alunos/viatura, Geral BPEC, 2º turno.....	97
Tabela 27 - Resultado heurístico, alunos/viatura, Geral BPEC, 1º turno.....	98
Tabela 28 - Resultado heurístico, alunos/viatura, Geral BPEC, 2º turno.....	100
Tabela 29 - Resultado exato, alunos/viatura, Pelotão BPEC, 1º turno.....	101
Tabela 30 - Resultado exato, alunos/viatura, Pelotão BPEC, 2º turno.....	102
Tabela 31 - Resultado heurístico, alunos/viatura, Pelotão BPEC, 1º turno.....	103
Tabela 32 - Resultado heurístico, alunos/viatura, Pelotão BPEC, 2º turno.....	104
Tabela 33 - Resultado exato, alunos/viatura, UOA, 1º turno.....	104
Tabela 34 - Resultado exato, alunos/viatura, UOA, 2º turno.....	105
Tabela 35 - Resultado heurístico, número de alunos/viatura, UOA, 1º turno..	106
Tabela 36 - Resultado heurístico, alunos/viatura, UOA, 2º turno.....	107
Tabela 37 - Comparação final colégios/viatura, agrupamento Geral BPEC....	109
Tabela 38 - Comparação final colégios/viatura, agrupamento Pelotão BPEC	110
Tabela 39 - Comparação final, desvio padrão de colégios/viatura, Agrupamento Pelotão BPEC.....	110
Tabela 40 - Comparação final colégios/viatura, agrupamento UOA.....	111
Tabela 41 - Comparação final, desvio padrão de colégios/viatura, agrupamento UOA.....	111
Tabela 42 - Comparação final alunos/viatura, agrupamento Geral BPEC.....	112
Tabela 43 - Comparação fina alunos/viatura, desvio padrão de alunos\viatura, agrupamento Geral BPEC.....	113
Tabela 44 - Comparação final alunos/viatura, desvio padrão de colégios\viatura, agrupamento Geral BPEC.....	113
Tabela 45 - Comparação final alunos/viatura, agrupamento Pelotão BPEC..	114
Tabela 46 - Comparação final alunos/viatura, desvio padrão de alunos\viatura, agrupamento Pelotão BPEC.....	114
Tabela 47 - Comparação final alunos/viatura, desvio padrão de colégios\viatura, agrupamento Pelotão BPEC.....	114
Tabela 48 - Comparação final alunos/viatura - UOA.....	115

Tabela 49 - Comparação final alunos/viatura, desvio padrão de alunos\viatura, agrupamento UOA.....	115
Tabela 50 - Comparação final alunos/viatura, desvio padrão de colégios/viatura, agrupamento UOA.....	116

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	16
1.1 ORIGEM DO PROBLEMA.....	16
1.2 OBJETIVO DO TRABALHO.....	17
1.3 IMPORTÂNCIA DO TRABALHO.....	18
1.4 LIMITAÇÕES DO TRABALHO.....	19
1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	19
2. DESCRIÇÃO DO PROBLEMA.....	21
2.1 ESTRUTURA GERAL DA POLÍCIA MILITAR DO PARANÁ.....	21
2.2 BATALHÃO DE PATRULHA ESCOLAR COMUNITÁRIA.....	27
2.2.1 Estrutura do BPEC.....	29
2.2.2 Turno de serviço e despacho das ocorrências.....	33
2.2.3 Da distribuição atual dos colégios em Curitiba/PR.....	35
3 REVISÃO DE LITERATURA.....	36
4 PROBLEMAS DE LOCALIZAÇÃO DE FACILIDADES.....	40
4.1 INTRODUÇÃO.....	40
4.2 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA DAS P-MEDIANA.....	40
4.3 PROBLEMA P-MEDIANAS COMO PROBLEMA DE PROGRAMAÇÃO LINEAR INTEIRA BINÁRIA.....	43
4.4 ALGORITMO DAS P-MEDIANAS DE TEIZT E BART.....	44
4.4.1 Conceitos para o Algoritmo de TEIZT e BART.....	45
4.4.2 Algoritmo de TEIZT e BART.....	46
4.5 ALGORITMO DE GILLET E JOHNSON.....	47
5 ROTEIRIZAÇÃO DE VEÍCULOS.....	50
5.1 INTRODUÇÃO.....	50
5.1.1 A origem do problema.....	51

5.1.2O Problema do Caixeiro Viajante – PCV.....	52
5.1.3 Descrição dos Métodos Exatos e Heurísticos para o Problema do Caixeiro Viajante.....	53
5.2 DESCRIÇÃO DOS ALGORITMOS DO PVC UTILIZADO NESTE TRABALHO.....	55
5.2.1 Inserção do vizinho mais próximo.....	55
5.2.2 Heurística de k-substituições ou k-opt.....	57
6 METODOLOGIA EMPREGADA NO TRABALHO.....	59
6.1 COLETA DOS DADOS.....	59
6.1.1 Colégios estaduais de Curitiba/PR.....	59
6.1.2 Escala de serviço diária.....	60
6.1.3 Coordenadas geográficas dos colégios.....	62
6.1.4 Relação escola com pelotão e turno de serviço.....	65
6.2 IMPLEMENTAÇÃO COMPUTACIONAL	66
6.2.1 Introdução.....	66
6.2.2 Funcionalidade do “ <i>DesignaPEC</i> ”.....	68
6.2.2.1 Critérios de agrupamento.....	68
6.2.2.2 Critério de designação para a capacidade por equipe de serviço....	69
6.2.2.3 Quantidade de viaturas por turno de serviço.....	74
6.2.2.4 Roteamento da escala atualmente adotada.....	75
6.3 IMPLANTAÇÃO DO MODELO EXATO.....	76
7 TESTES COMPUTACIONAIS E RESULTADOS.....	81
7.1 RESULTADOS COMPUTACIONAIS PARA A SITUAÇÃO ATUAL.....	81
7.1.1 Resultado da situação atual com algoritmo exato.....	81
7.1.2 Resultado da situação atual com algoritmo heurístico.....	84
7.2 RESULTADOS: DESIGNAÇÃO NÚMERO DE COLÉGIOS POR VIATURA.	86
7.2.1 Designação exata por número de colégios/viatura, Geral BPEC.....	86
7.2.2 Designação heurística por número de colégios/viatura, Geral BPEC.	88
7.2.3 Designação exata por numero de colégios/viatura, Pelotão BPEC....	89
7.2.4 Designação heurística por número de colégios/viatura, Pelotão BPEC.....	91

7.2.5 Designação exata por número de colégios/viatura, UOA.....	92
7.2.6 Designação heurística por número de colégios/viatura, UOA.....	94
7.3 RESULTADOS: DESIGNAÇÃO NÚMERO DE ALUNOS POR VIATURA.....	96
7.3.1 Designação exata por número de alunos\viatura, Geral BPEC.....	96
7.3.2 Designação heurística por número de alunos/viatura, Geral BPEC....	97
7.3.3 Designação exata, número de alunos/viatura, Pelotão BPEC.....	101
7.3.4 Designação heurística, número de alunos\viatura, Pelotão BPEC.....	103
7.3.5 Designação exata, número de alunos\viatura, UOA.....	104
7.3.6 Designação heurística, número de alunos\viatura, UOA.....	106
8 ANÁLISE DOS RESULTADOS E CONCLUSÃO.....	108
8.1 DESIGNAÇÃO POR VIATURA: NÚMERO DE COLÉGIOS/VIATURA.....	108
8.1.1 Número de colégios/viatura, Geral BPEC: atual x exato x heurístico	108
8.1.2 Número de colégios/viatura, Pelotão: atual x exato x heurístico.....	109
8.1.3 Número de colégios/viatura, UOA: atual x exato X heurístico.....	110
8.2 DESIGNAÇÃO POR VIATURA: NÚMERO DE ALUNOS/VIATURA.....	112
8.2.1 Número de alunos/viatura, Geral BPEC: atual x exato x heurístico...	112
8.2.2 Número de alunos/viatura, Pelotão BPEC: atual x exato x heurístico	113
8.2.3 Número de alunos/viatura, UOA: atual x exato x heurístico.....	115
9 CONCLUSÃO E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	117
9.1 CONCLUSÃO.....	117
9.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	118
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	119
ANEXO A - LISTA E GRÁFICOS: ROTEAMENTO COLÉGIOS/VIATURA.....	122
ANEXO B - LISTA E GRÁFICOS: ROTEAMENTO ALUNOS/VIATURA.....	134
ANEXO C - RELAÇÃO DOS COLÉGIOS ESTADUAIS DE CURITIBA/PR.....	146
ANEXO D - COORDENADAS CARTESIANAS DOS COLÉGIOS.....	150

CAPÍTULO I

1 INTRODUÇÃO

1.1 ORIGEM DO PROBLEMA

A rede de ensino pública estadual no município de Curitiba, no ano de 2010, contava com mais de 193.000 alunos matriculados, distribuídos entre o ensino fundamental e médio, atendidos por 165 estabelecimentos de ensino.

Toda essa concentração de alunos, juntamente com aspectos sociais, desigualdades econômicas e socioculturais acabam gerando em muitos casos um clima de tensão na comunidade escolar, ocasionando conflitos entre discentes e docentes. Aglomerações em torno dos colégios de pessoas que utilizam o grande fluxo de alunos circulantes para realizar delitos, seja a venda de substâncias entorpecentes ilícitas, brigas, etc. agravam o problema da segurança no âmbito escolar.

De acordo com pesquisa pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) realizada com estudantes do 9º ano do ensino fundamental no ano de 2009, em todas as capitais e distrito federal, Curitiba foi a capital com maior proporção de escolares que estiveram envolvidos em brigas, que acabaram ocasionando agressão física em ambiente de ensino, sendo que 18,1 % dos entrevistados responderam que já estiveram envolvidos nos últimos 30 dias neste tipo de situação. Quando perguntado sobre a segurança no trajeto casa-escola, a pesquisa mostrou que em todas as capitais e distrito Federal, 6,4% dos entrevistados deixaram de ir à aula porque não se sentiram seguros neste percurso.

Devido às particularidades do público que o meio escolar envolve, em sua grande maioria crianças e adolescentes, existe a necessidade de um tratamento diferenciado quando se pretende passar a sensação de segurança para os envolvidos neste contexto. Diante disto, no ano de 1994 surgiu a primeira modalidade de policiamento tentando minimizar o problema de violência nas escolas, chamado de “Patrulha Escolar”, que era realizado por uma dupla de policiais militares femininas, as quais desenvolviam suas atividades através de

patrulhamento motorizado e de permanência em locais de maior potencial de risco, completando suas atividades com visitas programadas aos estabelecimentos de ensino da capital, tendo a finalidade de ampliar a sensação de segurança e proteção às crianças e adolescentes que frequentavam as escolas.

1.2 OBJETIVO DO TRABALHO

O presente estudo tem foco na avaliação da atual distribuição das Rádios Patrulhas (RPA) pertencentes ao 1º e 2º pelotões da 1ª Cia.PM do Batalhão de Patrulha Escolar Comunitária (BPEC), que são responsáveis pelo atendimento dos chamados de ocorrência e a realização do patrulhamento preventivo nos estabelecimentos de ensino da rede pública estadual no município de Curitiba/PR. Pretende-se verificar se os colégios atendidos pelas viaturas estão bem designados, ou seja, se a distância percorrida por uma viatura para realizar as visitas diárias está otimizada, utilizando para isso a implementação de um algoritmo exato e um heurístico, pretendendo assim tornar o mais próximo e rápido possível o deslocamento de uma viatura para um colégio.

Desenvolveu-se aplicativo para auxiliar nas possíveis novas distribuições quando estiverem disponíveis mais equipes de serviço/viaturas, bem como se for necessário temporariamente diminuir o número de viaturas disponíveis para o patrulhamento, possibilitando de forma dinâmica redistribuir os colégios que cada viatura deverá atender, auxiliando diariamente nas decisões dos responsáveis por determinar qual o conjunto de escolas que cada viatura deve atender.

Realizou-se o roteamento das viaturas, a fim de estabelecer, além de um critério para comparação da eficiência do modelo proposto em vista do atual, fornecer uma solução boa para a realização do trajeto a ser feito pelos patrulheiros escolares nas visitas aos estabelecimentos de ensino quando não estiverem em atendimento de ocorrência, diminuindo o tempo do deslocamento entre uma escola e outra, conseqüentemente podendo aumentar o número de colégios visitados diariamente.

Foram designadas as equipes de serviço de maneira homogênea aos estabelecimentos de ensino, possibilitando um número igual de colégios para cada viatura de serviço do BPEC disponível ao dia, evitando desta forma sobrecarregar uma equipe de serviço.

Por fim verificou-se, sobre o critério de capacidade de cada equipe de serviço, se as economias nas visitas diárias são maiores se forem designados os colégios atendidos por cada equipe de acordo com a média de alunos/viaturas ao invés da distribuição da média de colégios/viatura.

1.3 IMPORTÂNCIA DO TRABALHO

No ano de 2010 existiam no município de Curitiba 165 colégios e escolas estaduais, com aproximadamente 193.000 alunos matriculados. Os chamados para atendimentos de ocorrências em unidades de ensino são inúmeros diariamente. Apenas no ano de 2010, no município de Curitiba, foram mais de 16.000 atividades atendidas pelos policiais do BPEC, seja para encaminhamentos com apreensão ou prisão, mediação de conflitos entre alunos, orientações à coordenação dos colégios e elaborações de palestras interativas para alunos, professores e pais, visitas, entradas e saídas na frente dos colégios entre outras atividades.

Diante desta demanda de serviços, faz-se necessário um aplicativo dinâmico que possibilite a distribuição do efetivo/viaturas a um número de colégios, levando em conta a quantidade de viaturas/efetivo que estão disponíveis em cada turno de serviço no decorrer da semana, número médio de ocorrências em cada estabelecimento, número de alunos e distância entre os colégios. Como imprevistos acontecem, tendo a necessidade de diminuir o efetivo disponível, sejam por problemas mecânicos das viaturas policiais, problemas de saúde dos patrulheiros, efetivo em curso, entre outros, existe a necessidade de reestruturar a distribuição dos colégios, reorganizados os setores de serviço de cada viatura disponível para atender os chamados diariamente.

Quando o Batalhão de Patrulha Escolar Comunitária foi criado em 2008, foi adotado como critério para a divisão territorial das companhias e pelotões, os Núcleos Regionais de Educação do Paraná. Isso ocorreu em virtude que o Programa Patrulha Escolar (PEC) trabalha em parceria com a Secretaria de Estado da Educação do Paraná (SEED), possibilitando a Coordenação do Programa junto à SEED participar do processo de construção de uma comunidade escolar mais preparada para enfrentar os problemas relacionados com a violência, repassando informações diretamente aos Núcleos Regionais de Educação (NRE). Seguindo este raciocínio, o 1º pelotão da 1ª Companhia de Polícia Militar do BPEC, (1º Pel./1ª

Cia.PM/BPEC) está situado nas regionais norte do NRE de Curitiba e o 2º pelotão da 1ª Companhia de Polícia Militar do BPEC, (2º Pel./1ª Cia.PM/BPEC) está situado na área de abrangência das regionais sul do mesmo NRC. Os resultados finais poderão servir de base para uma reestruturação da responsabilidade territorial de cada um dos dois pelotões pertencentes a 1ª Cia.PM/BPEC, adotando outros critérios para a divisão das áreas atendidas pelos patrulheiros, como por exemplo, a distância de deslocamentos entre os colégios.

1.4 LIMITAÇÕES DO TRABALHO

O presente estudo ficou limitado à rede de ensino estadual do município de Curitiba/PR, que é a maior geradora de ocorrências diárias atendidas pelas viaturas do BPEC. Não foram consideradas as redes de ensino particular e municipal, embora ambas, quando necessitam, acionam normalmente a presença de uma equipe de serviço ao estabelecimento de ensino, porém não são contempladas com o Programa Patrulha Escolar, como será detalhado a seguir.

Também não foi levada em consideração a distância real entre os estabelecimentos de ensino, e sim as distâncias euclidianas.

O levantamento quantitativo do número de ocorrências geradas em cada colégio do município de Curitiba ficou inviabilizado devido a perda temporária do Banco de Dados online do Batalhão, onde ficam registradas as ocorrências típicas do ambiente escolar, impossibilitando em tempo deste trabalho a obtenção destes números.

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está dividido em nove capítulos. Neste primeiro capítulo, foram apresentadas a origem do trabalho, seus objetivos, importância, limitações e estruturas do trabalho.

No segundo capítulo faz-se a descrição do problema real, a estrutura geral da Polícia Militar do Paraná e as características da prestação de serviços pelo BPEC.

No terceiro capítulo faz-se uma revisão da literatura. No quarto e quinto capítulos são expostas as teorias necessárias para o desenvolvimento deste trabalho.

No sexto capítulo apresenta-se a metodologia proposta para solução do problema, dividido em três seções secundárias. A seção 6.1 discrimina o processo de levantamento dos dados. Já a seção 6.2 descreve a implementação computacional dos algoritmos exatos e heurístico, assim como a interface do programa “*DesignaPEC*” e a seção 6.3 descreve o processo de chamada do “*DesignaPEC*” para o programa *LINGO 12.0*.

O sétimo capítulo apresenta os resultados obtidos após as execuções dos algoritmos exatos e heurísticos nos dois turnos de serviço, e no oitavo capítulo estão as análises dos resultados.

E finalizando o trabalho, as conclusões e sugestões para trabalhos futuros aparecem no capítulo nove.

CAPÍTULO II

2. DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

2.1 ESTRUTURA GERAL DA POLÍCIA MILITAR DO PARANÁ.

De acordo com a Constituição Federal, no artigo 144, cabe às Polícias Militares:

§ 5º - às polícias militares cabem a polícia ostensiva e a preservação da ordem pública; aos corpos de bombeiros militares, além das atribuições definidas em lei, incumbe a execução de atividades de defesa civil.

§ 6º - As polícias militares e corpos de bombeiros militares, forças auxiliares e reserva do Exército, subordinam-se, juntamente com as polícias civis, aos Governadores dos Estados, do Distrito Federal e dos Territórios.

A Polícia Militar do Paraná (PMPR), instituição que está organizada na disciplina e hierarquia, destinada à manutenção da ordem pública do Estado do Paraná tem como missão executar o policiamento ostensivo, fardado, planejado pelas autoridades policiais competentes, a fim de assegurar o cumprimento da Lei, a manutenção da ordem pública e o exercício dos poderes constituídos; atuar de maneira repressiva, em caso de perturbação da ordem; atuar de maneira preventiva, como força de dissuasão, onde se presume ser possível a perturbação da ordem pública, atender à convocação do Governo Federal em caso de guerra externa, ou prevenir ou reprimir grave subversão da ordem, ou ameaça de sua interrupção.

Além disso, ainda cabe à Polícia Militar, realizar serviços de prevenção e de extinção de incêndios, simultaneamente com o de proteção e salvamento de vidas e material nos locais de sinistro, bem como o de busca e salvamento, prestando socorros em caso de afogamento, inundações, desabamentos, acidentes em geral, catástrofes e calamidades públicas, através do Corpo de Bombeiros.

Atualmente a Polícia Militar do Paraná (PMPR), presente em todos os 399 municípios do Estado, é estruturada em Órgãos de Direção, Apoio e Órgão de Execução. Os Órgãos de Execução constituem as unidades operacionais da Corporação, sendo de duas naturezas: de Polícia Militar e de Bombeiro Militar.

As unidades de Polícia Militar, Batalhões de Polícia Militar (BPM), são operacionalmente e administrativamente subordinadas aos Comandos Regionais de Polícia Militar (CRPM), os quais são responsáveis em suas respectivas áreas de atuação perante o Sub-Comando Geral. O organograma abaixo exemplifica a estrutura da PMPR:

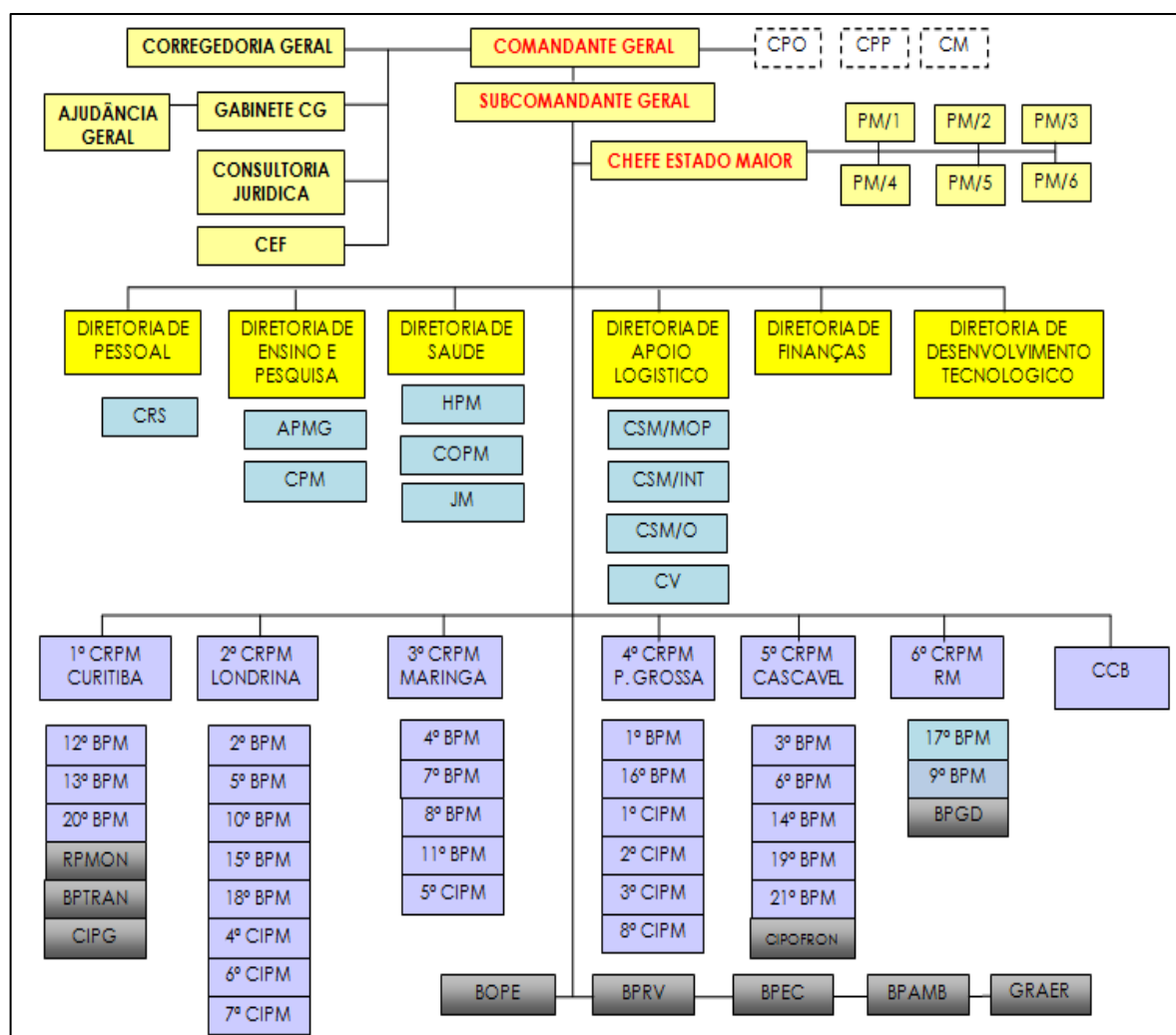


Figura 1: Organograma estrutural da PMPR.

De acordo com a Lei de Organização Básica da PMPR, o estado é dividido em áreas em função de suas necessidades decorrentes das missões normais de

Polícia Militar e das características regionais, sendo assim, essas serão atribuídas a responsabilidade total dos batalhões.

Por sua vez, cada Batalhão de Polícia Militar será dividido em subáreas, atribuídas às companhias de Polícia Militar subordinadas, as subáreas por sua vez serão divididas em setores de responsabilidade de pelotões de Polícia Militar.

Um batalhão pode ser composto de duas a seis companhias; uma companhia pode conter de dois a seis pelotões os quais podem ser constituídos de dois a seis grupos e um grupo deve ser constituído de um sargento e três soldados, no mínimo.

Cada município que não seja sede de BPM, Cia.PM ou Pel.PM corresponderá um Destacamento Policial-Militar (Dst.PM), constituídos pelos menos de um grupo de Polícia Militar. Ainda pode ocorrer de existir subdestacamento, com efetivo mínimo de dois soldados e um cabo, nos distritos dentro de municípios.

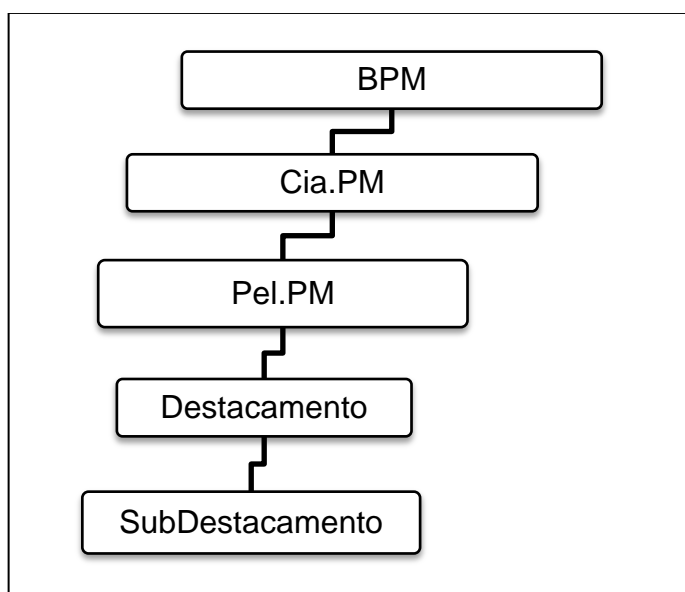


Figura 2: hierarquia das unidades de um BPM.

Na capital do Estado o 12º BPM, 13º BPM e 20º BPM são as unidades responsáveis pelo patrulhamento ostensivo e repressivo nas ruas da cidade. A divisão territorial fica sendo por meios dos bairros, e ainda dentro dos batalhões, os bairros acabam limitando a circunscrição de atuações de cada companhia. Exemplo disso ocorre com a 1ª Cia.PM/12º BPM que é apenas limitada pelo centro da cidade, diferente da realidade dos municípios do interior do estado, onde um batalhão geralmente atende várias cidades que são subdividas em companhias e pelotões.

A figura 3 exemplifica a divisão dos três batalhões que realizam o patrulhamento ostensivo e preventivo no município de Curitiba.

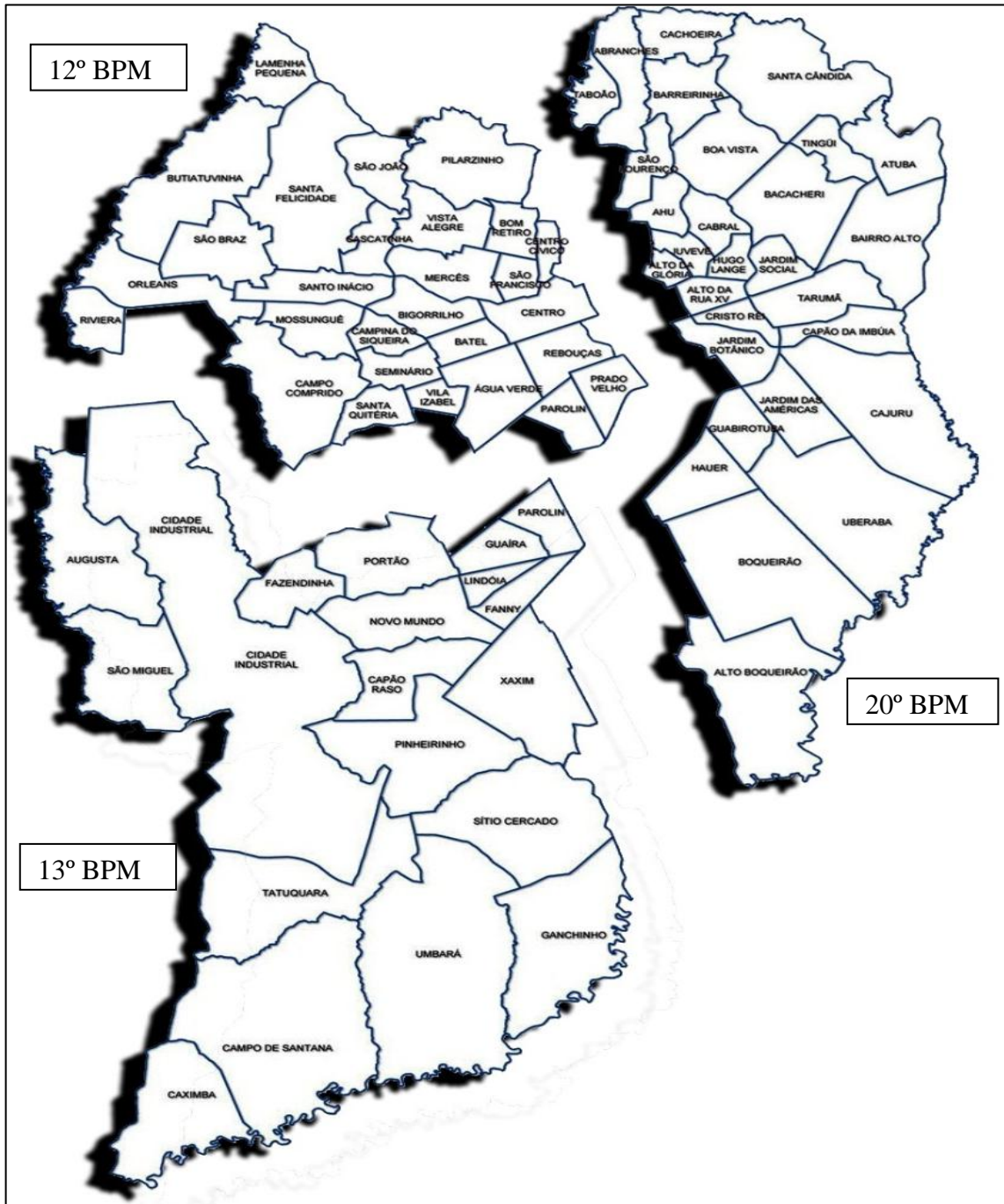


Figura 3: área de atuação do 12º BPM, 13º BPM e 20º BPM em Curitiba/PR.

Importante destacar que as Unidades Operacionais de Área (UOA), 12º BPM, 13º BPM e 20º BPM em Curitiba/PR, e as demais unidades em todo o Estado do Paraná, são Batalhões de Polícia Militar (BPM) encarregados do policiamento

ostensivo normal de uma determinada área, traduzido pela ação de patrulheiros-a-pé, montados ou motorizados, responsáveis pelo atendimento dos chamados originados via 190 ou por solicitação direta a equipe de serviço. Porém além destas unidades, em razão dos diferentes objetivos da missão Policial-militar, da diversidade de processos a serem empregados para o cumprimento dessa missão e em razão de características isográficas do Estado, existem as Unidades Especializadas, que são:

- a) **Batalhão de Polícia Rodoviária Estadual (BPRV):** é o órgão encarregado do policiamento ostensivo visando ao cumprimento das regras e normas de tráfego rodoviário, estabelecidas pelo Departamento de Estradas de Rodagem ou pelo Departamento Nacional de Estradas de Rodagem e de acordo com o Código de Trânsito Brasileiro;
- b) **Batalhão de Patrulha Ambiental – Força Verde (BPamb-FV):** encarregado do policiamento ostensivo, visando o cumprimento dos dispositivos legais na proteção da fauna, da flora e do meio ambiente;
- c) **Batalhão Operações Policiais Especiais (BOPE):** encarregado da polícia ostensiva de segurança específica, de preservação e restauração da ordem pública pelo emprego da força, mediante ações e operações de polícia de choque, particularmente quando a ordem pública estiver ameaçada ou já rompida e requeira intervenção pronta e enérgica da tropa especialmente instruída e treinada; em situações de distúrbios, resgates, sequestros com reféns, controle de rebeliões em estabelecimentos penais, ações antitumultos, antiterrorismo, desativação de artefatos explosivos e similares, escoltas especiais, defesa de pontos sensíveis;
- d) **Grupamento Aéreo (GRAER):** a missão do GRAER é o apoio aéreo no policiamento ostensivo, no socorrimento público, nas ações de defesa civil, nas ações e operações policiais militares e bombeiros militares, no apoio a órgãos federais, estaduais e municipais em todo território nacional, em missões de segurança pública e/ou de defesa civil, no transporte de autoridades e em todas as demais ações de preservação da ordem pública;

- e) **Batalhão de Polícia de Trânsito (BPTran):** a unidade executa fundamentalmente o policiamento de trânsito em Curitiba, a pé e motorizado, na modalidade patrulhamento, permanência e escolta;
- f) **Batalhão de Polícia de Guarda (BPGD):** realiza a segurança externa, escolta de reclusos, executa operações do tipo "bate grade", visando apoiar os Agentes Penitenciários dos estabelecimentos prisionais e penais, entre elas Penitenciária Central do Estado (PCE), Colônia Penal Agrícola (CPA), Penitenciária Estadual de Piraquara (PEP), Penitenciária Feminina do Paraná (PFP), Centro de Detenção e Ressocialização de Piraquara (CDR), Casa de Custódia de Curitiba (CCC), Centro de Detenção Provisória de São José dos Pinhais (CDP), Complexo Médico Penal (CMP);
- g) **Regimento de Polícia Montada (RPMon):** executa o policiamento montado, nos locais de acesso restrito, em parques públicos e em locais de grande movimentação de pessoas; suplementando a atuação das demais Unidades Operacionais de Área. Por sua natureza especial, é empregado no policiamento externo de futebol, shows, carnaval, eleições, comícios, passeatas, carreatas, parque de exposição, festivais musicais e folclóricos. Realiza policiamento especializado em representações solenes e escolta de lanceiros para dignitários;
- h) **Companhia Independente de Policiamento e Operações de Fronteira (CIPOFron):** encarregada do combate e repressão aos ilícitos cometidos nas regiões de fronteira e de divisa com o Estado do Paraná, coibindo enfaticamente os crimes relacionados ao tráfico de armas e de drogas, através de operações terrestres, aéreas e aquáticas;
- i) **Companhia Independente de Polícia de Guardas (CIPG):** encarregada do policiamento ostensivo geral e de guarda (quanto ao tipo), à pé e motorizado (processo), nas modalidades de patrulhamento e permanência, visando a guarda e segurança de estabelecimentos públicos, em particular, a sede dos poderes públicos estaduais (principalmente Palácio das Araucárias e Palácio Iguaçu), a residência dos chefes desses poderes (Governador e Secretário de Segurança

Pública), e também os Corpos Consulares e residência de autoridades consulares;

- j) **Batalhão de Patrulha Escolar Comunitária (BPEC)**: encarregado do patrulhamento escolar ostensivo preventivo e permanência em áreas internas, externas e adjacentes aos estabelecimentos de ensino, atuando na repressão a crimes e atos infracionais, visando a segurança dos alunos, a consultoria aos diretores quanto à segurança e ainda a interação com a comunidade escolar.

2.2 BATALHÃO DE PATRULHA ESCOLAR COMUNITÁRIA

Após as primeiras experiências com o piloto “Projeto Galha Azul” em 1994, que resultou em uma grande aceitação da comunidade escolar pelo atendimento diferenciado realizado pelos policiais, foi necessário incrementar o projeto Patrulha Escolar nos municípios de Curitiba, Colombo, Pinhais, Piraquara, Almirante Tamandaré e Quatro Barras, mas o efetivo e viaturas ainda pertenciam as UOA (12º BPM, 13º BPM, RPmon e 17º BPM).

Após o ano de 2003, através de parceria realizada entre a Polícia Militar do Paraná, Núcleo Regional de Educação de Curitiba e a Comunidade Escolar, foi implantado o programa “Por Uma Escola Segura”, o qual a Patrulha Escolar passava a ter a função principal de prevenção, ficando em segundo plano a repressão a crimes e atos infracionais. A prevenção deu-se através da Polícia Comunitária que, pela aproximação na escola, ampliava a segurança, proporcionando esclarecimento de dúvidas sobre o trabalho policial e assessoramento à escola quanto a segurança, e ainda a interação entre a comunidade escolar e as autoridades locais.

O Plano de Operação 001/2004 conceitua a missão do Programa Patrulha Escolar Comunitária (PEC), que tem como característica principal, no momento da sua instalação no estabelecimento de ensino, criar uma identidade de segurança própria para a escola ou colégio estadual, à medida que é desenvolvida nas comunidades escolares, já que conta com a inclusão de algumas atividades complementares, que são:

- a) **1ª etapa**: avaliação e classificação das instalações físicas quanto à funcionalidade e segurança;

- b) **2ª etapa:** diagnóstico escolar, que é realizado por meio da aplicação de dinâmicas;
- c) **3ª etapa:** execução das ações realizadas na II etapa pela administração e comunidade escolar;
- d) **4ª etapa:** Palestras Interativas;
- e) **5ª etapa:** “Plano de segurança”, todas as atividades desenvolvidas pela Patrulha Escolar e que estão descritas anteriormente serão registradas no Plano de Segurança do estabelecimento de ensino em questão, de forma a traduzir todas as atividades desenvolvidas pela comunidade escolar e administração do estabelecimento de ensino em prol da segurança daquela população.

No ano de 2008 foi criado o Batalhão de Patrulha Escolar Comunitária (BPEC), com sede em Curitiba/PR, o qual passou a ser composto pelo efetivo dos Polícias que desenvolviam o Programa Patrulha Escolar nas suas UOA, ficando sobre único comando, com abrangência em todo território paranaense, contando com um efetivo inicial superior a 500 policiais militares. Em complemento às atividades desenvolvidas pelos policiais do Batalhão de Patrulha Escolar são desempenhadas outras atividades:

- a) interação com a comunidade e autoridades locais;
- b) aconselhamento aos alunos;
- c) mediação na resolução de conflitos;
- d) busca pessoal (preventiva e por fundada suspeita);
- e) operações externas às escolas;
- f) palestras interativas;
- g) busca coletiva com autorização judicial.

O Batalhão ainda mantém a Coordenação do Programa Educacional de Resistência às Drogas (PROERD) que também tem seu foco na comunidade escolar, porém a sua abordagem tem o cunho totalmente preventivo. O programa tem como público alvo os alunos das series iniciais, 5º e 7º anos do ensino fundamental, além de curso para Pais e Professores. O programa consiste na aplicação de 10 lições, uma por semana, abordando assuntos de prevenção ao uso

de drogas, sendo aplicado por um policial militar, denominado Educador Social do PROERD.

2.2.1 Estrutura do BPEC

Até o ano de 2010 o BPEC estava presente em 90 municípios do Paraná de forma exclusiva. Nos municípios que não possuem efetivos do BPEC, as chamadas para atendimento de ocorrência no âmbito escolar são encaminhadas diretamente para RPA do batalhão responsável pelo município.

O Batalhão de Patrulha Escolar Comunitária está estruturado em quatro companhias:

Tabela 1
Municípios de cada Cia.PM/BPEC

Cia.	Pel.	Município
1ª	1º 2º	Curitiba
	3º	Almirante Tamandaré, Campina Grande do Sul Campo Magro, Colombo, Itaperuçu, Pinhais, Piraquara, Quatro Barras, Rio Branco do Sul.
	4º	Araucária, Balsa Nova, Campo Largo, Contenda, Fazenda Rio Grande, Lapa, Mandirituba, Rio Negro, São José dos Pinhais.
	5º	Castro, Fernandes, Pinheiro, Irati, Palmeira, Ponta Grossa, Prudentópolis.
	6º	Antonina, Guaratuba, Matinhos, Morrentes, Paranaguá, Pontal do Paraná.
2ª	1º	Barracão, Dois Vizinho, Foz do Iguaçu, Francisco Beltrão, Medianeira.
	2º	Coronel Vivida, Mangueirinha, Santo Antônio do Sudoeste, Cascavel, Pato Branco, Palmas.
	3º	Guarapuava, Pinhão, Pitanga, União da Vitória.
3ª	1º	Cruzeiro do Sul, Loanda, Maringá, Paiçandu, Paranavaí, Sarandi.
	2º	Assis Chateaubriand, Guaíra, Marechal Cândido Rondon, Palotina, Toledo.
	3º	Campo Mourão, Cianorte, Goioerê, Tapejara, Umuarama.

Continuação Tabela 1
Municípios de cada Cia.PM/BPEC

Cia.	Pel.	Município
4 ^a	1 ^o	Cambé, Ibiporã, Londrina (sede), Rolândia, Tamarana.
	2 ^o	Apucarana, Arapongas, Califórnia, Cambira, Faxinal, Imbaú, Ivaiporã, Jardim Alegre, Marilândia do Sul, Mauá da Serra, Rio Bom, Sabáudia, Sapopema, Telêmaco Borba.
	3 ^a	Andirá, Bandeirantes, Cambará, Cornélio Procópio, Ibaiti, Jacarezinho, Santo Antônio da Platina, São Jerônimo da Serra, Wenceslau Braz.

Os colégios da região de Curitiba são atendidos pelas viaturas pertencentes ao 1^o e 2^o pelotões da 1^a Cia.PM/BPEC. Nas tabelas 2 e 3 são relacionados cada bairro e o pelotão BPEC associado a eles.

Tabela 2
Bairros dos colégios do 1^o Pel./1^a Cia.PM/BPEC

1^o Pel./1^a Cia.PM/BPEC			
Água Verde	Campo Comprido	Mercês	São João
Alto da Glória	Capão da Imbuia	Mossungue	Seminário
Bacacheri	Cascatinha	Orleans	Tarumã
Bairro alto	Centro	Parolin	Vila Izabel
Batel	Centro Cívico	Pilarzinho	Vista Alegre
Bigorrião	Cristo Rei	Prado Velho	Santa Quitéria
Bom Retiro	Guabirota	Rebouças	Santa Felicidade
Butiatuvinha	Jardim das Américas	Santo Inácio	
Cajuru	Jardim Botânico	São Braz	
Campina do Siqueira	Lamenha Pequena	São Francisco	

Tabela 3
Bairros dos colégios do 2º Pel./1ª Cia.PM/BPEC

2º Pel./1ª Cia.PM/BPEC			
Abranches	Caiua	Juvevê	Tingui
Ahú	Campo do Santana	Novo Mundo	Uberaba
Alta Boqueirão	Capão Raso	Pinheirinho	Umbará
Alto da XV	Caximba	Portão	Vila Augusta
Atuba	CIC	Santa Cândida	Vila Fanny
Barreirinha	Fazendinha	São Lourenço	Vila Guaíra
Boa Vista	Ganchinho	São Miguel	Vila Lindoia
Boqueirão	Hauer	Sítio Cercado	Xaxim
Cabral	Hugo Lange	Taboão	
Cachoeira	Jardim Social	Tatuquara	

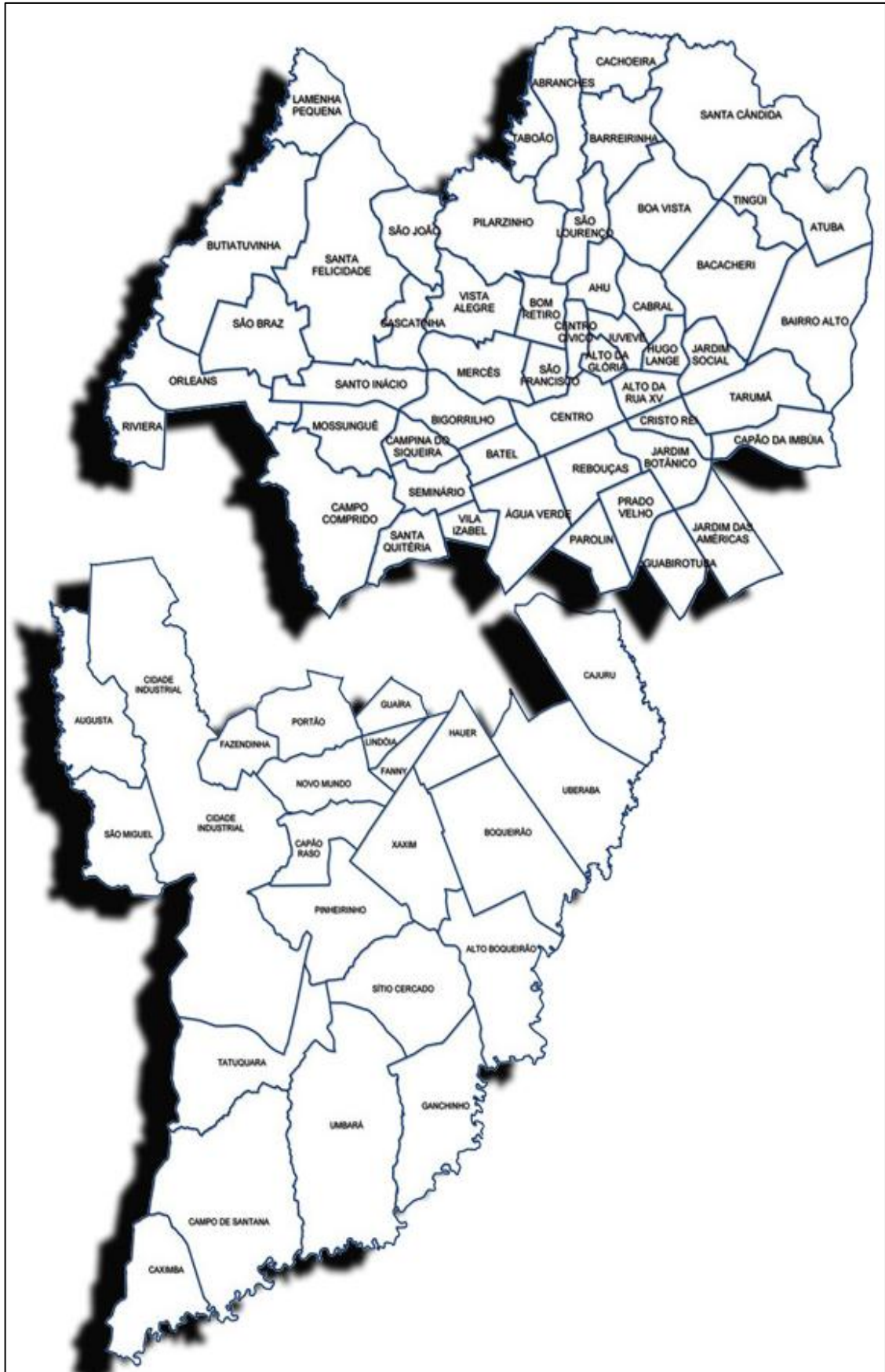


Figura 4: divisão dos pelotões BPEC no município de Curitiba/PR.

2.2.2 Turno de serviço e despacho das ocorrências

Cada viatura do BPEC pode ser composta por um ou dois policiais que trabalham diariamente de segunda a sexta-feira. O primeiro turno tem início às 07h00min. até as 15h00min. e o segundo turno tem início às 15h00min. até às 23h00min, e nos finais de semana e feriados ocorrem as escalas extras para eventos específicos, de acordo com a solicitação encaminhada ao comando do batalhão.

A escala de serviço com os bairros que cada RPA deve atender sai diariamente, sendo enviada aos policiais e também encaminhada ao COPOM (Coordenação de Operações Policial Militar), subordinado ao Centro Integrado de Operações de Segurança Pública – CIOSP, órgão que se constitui de um único centro de comunicação na região metropolitana de Curitiba/PR, a que compete:

- a) o atendimento emergencial de ocorrências;
- b) a coordenação, a orientação e a disciplina do sistema de comunicações, no atendimento emergencial de ocorrências;
- c) a coordenação integrada das operações e despachos de ocorrências, quando o atendimento envolve mais de um órgão subordinado à Secretaria de Estado de Segurança Pública – SESP, como a Polícia Civil, Polícia Militar e Corpo de Bombeiros.

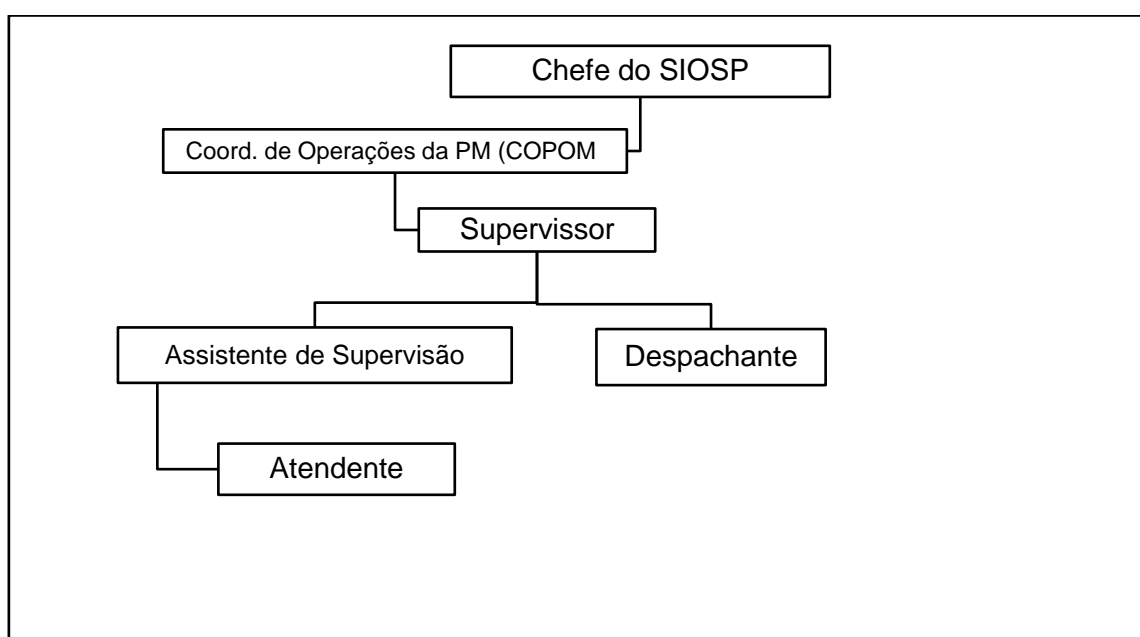


Figura 5: organograma referente à Coordenação da PMPR no SIOSP.

Durante os dois turnos de serviço, os chamados para atender as ocorrências envolvendo ambiente escolar podem ser gerados de três maneiras, devendo ser seguida sempre que possível a sequência a seguir:

- 1º) chamado via telefone 190;
- 2º) chamado via telefone da sede do BPEC;
- 3º) em alguns casos, o estabelecimento de ensino possui o telefone celular particular da equipe de serviço policial que atende o colégio.

Para qualquer comunicado de ocorrência policial realizado através do número 190, o atendente registra o chamado, que são analisados pelo Assistente de Supervisão, e na sequência são encaminhados para o computador do despachante, que tem controle da situação em que se encontra cada viatura do batalhão que é responsável. O despachante então aciona a viatura que é do setor, conforme a escala de serviço (Fig. 5).

Uma vez que até o presente momento o BPEC não possui um canal de radiocomunicação exclusivo para a OPM, todas as ocorrências são encaminhadas pelo despachante do 12º BPM, 13º BPM ou 20º BPM, conforme a região de área que o colégio está localizado, por exemplo, o Colégio Estadual do Paraná - CEP está situado na região central de Curitiba/PR. Aquela área é responsabilidade territorial das ocorrências diárias atendidas pelo 12º BPM, assim, o despachante desta unidade encaminha as ocorrências geradas no CEP ou qualquer outro que estiver em sua responsabilidade territorial para uma viatura do BPEC deste setor, conforme a escala de serviço.

Quando a viatura responsável por determinado estabelecimento de ensino já estiver em atendimento de ocorrência, o despachante pode deslocar outra viatura do BPEC mais próxima do colégio para atender o chamado. Porém se todas as viaturas do BPEC estiverem em atendimento, ainda pode ser designada uma viatura da UOA responsável. Como exemplo, considere novamente o Colégio Estadual do Paraná. Se tiver um chamado e a viatura do BPEC do setor já estiver em ocorrência e a mais próxima também estiver, o despachante analisa a gravidade da situação e conforme a necessidade, pode pedir auxílio de uma viatura da UOA para se deslocar até o estabelecimento de ensino, que no caso é da 1ª Cia.PM/12º BPM ou aguardar que seja encerrada a ocorrência para deslocar uma viatura do BPEC.

Dependendo da gravidade e da urgência para atendimento da ocorrência, pode o estabelecimento de ensino ligar para a sede do BPEC, no qual a telefonista de plantão tentará efetuar contato diretamente com o celular da equipe policial do setor que atende o colégio e solicitar o deslocamento.

Nos finais de semana, e no período compreendido entre as 23h00min. e às 07h00min. as ocorrências que possam ocorrer nos estabelecimentos de ensino, como furto, arrombamentos, vandalismo, entre outros, são encaminhadas para as rádios patrulhas das UOA.

2.2.3 Da distribuição atual dos colégios em Curitiba/PR

O município de Curitiba, devido a sua complexidade e número de população escolar, ficou dividido em dois pelotões responsáveis pelo atendimento dos colégios. Atualmente a distribuição de quais colégios cada viatura irá entender se restringe apenas na quantidade aproximada de colégios dentro de uma UOA, sendo distribuído por bairros que estão dentro de uma unidade operacional de área, a fim de facilitar a comunicação entre o COPOM e as equipes de serviço.

Desta forma, não são considerados dados como distância entre os colégios, números de alunos ou número de ocorrências de cada estabelecimento.

CAPÍTULO III

3 REVISÃO DE LITERATURA

Os problemas de Localização de Facilidades são uma classe de problemas dentro da Otimização Combinatória. Na literatura, problemas de localização são tratados pela teoria dos grafos. Estes problemas são conhecidos como problema dos centros e problemas das medianas. Nos dois casos, o objetivo é a localização de facilidades ao longo de uma rede viária definida por um grafo. De acordo com o objetivo desta localização, caracteriza-se o problema como sendo um problema de localização de centros ou de medianas.

De forma simplificada, podemos resumir um problema de localização de facilidades da seguinte maneira: dado um conjunto de locais de instalação e um conjunto de clientes que são servidos a partir das instalações:

- a) Quais facilidades devem ser utilizadas?
- b) Que clientes devem ser servidos a partir de qual facilidade, de modo a minimizar o custo total de servir todos os clientes?

As facilidades podem estar localizadas em um vértice e/ou sobre uma aresta. Minieka (1977) distingue dois problemas de achar medianas: se as p facilidades devem estar localizadas nos vértices, estas são chamadas de medianas, e temos um problema de p -medianas. Se as facilidades podem ser encontradas além do vértice também nas arestas, temos um problema de p -medianas absoluto.

Em 1963 Leon Cooper publicou um trabalho para resolver problemas de alocação e locação, onde apresentava um método exato e outra heurística para solucionar o problema. O algoritmo exato, quando comparado às situações que envolviam grandes números de dados, já não era viável o tempo de sua execução. Desta forma, Cooper indica qual caminho deveria se adotar a fim de pesquisar métodos que diminuíssem a quantidade de cálculos envolvidos.

As primeiras formulações do problema das p -medianas foram apresentadas por Hakmi (1964), que demonstrou a solução para o problema das p -medianas. Foi demonstrado que existe no mínimo um conjunto $V_p \subset V(G(V,A))$, onde $G(V,A)$ é um

grafo não orientado e $V \subset$ é o conjunto dos vértices do grafo e A é um conjunto de arestas. $V_p \subset$ contém p vértices do grafo que geram para o problema o menor valor possível ou que seja igual a solução produzida por qualquer outro conjunto de $X_p \subset$ de vértices localizados nos arcos ou vértices do grafo G .

Em 1964, ainda Hakmi trabalha com o problema de encontrar o número mínimo de policiais que podem ser distribuídos numa rede rodoviária para que nenhum posto policial fique distante de outro mais que uma distância pré-estabelecida. Ele estendeu o conceito de mediana em um grafo ponderado para múltiplas medianas.

Teitz e Bart (1968) apresentaram um método aproximado para encontrar a mediana de um grafo ponderado. Método este que apresentou bom resultado a época com a troca de vértices partindo de uma solução aleatória inicial, que será abordado na sequência neste trabalho.

Sampaio (1999) utilizou de metaheurística para o problema de localização de escolas do ensino fundamental no município de Curitiba. No trabalho elaborou-se um plano com intenção de aperfeiçoar a rede escolar, analisando a expansão, retração ou criação de novas escolas em uma determinada região do município de Curitiba, visando desta forma minimizar o caminho percorrido pelos alunos desde suas residências até a escola mais próxima. Foram abordadas técnicas de Algoritmo Genético e *Simulated Annealing* para o problema das p -medianas.

Formigoni (2005) em seu estudo sobre a resolução de problemas de roteamento de veículos na entrega de produtos da indústria avícola, visando minimizar a distância média de deslocamento dos caminhões que transportam as mercadorias propõem dois métodos, o primeiro, baseado em um algoritmo de Programação Linear Inteira Binária e o segundo baseado em algoritmo heurístico. O método de Programação Linear Inteira Binária fornece uma solução descrevendo quais os caminhões transportam as cargas para as respectivas cidades e a rota a ser percorrida através da solução de um modelo matemático. O método heurístico fornece o mesmo formato de resposta através de algoritmos para a formação de clusters (agrupamentos). O roteamento, em cada agrupamento, é obtido como solução de um problema dos Múltiplos Caixeiros Viajantes, visando à construção de vários roteiros otimizados que minimizam a distância total percorrida pelos veículos. Utilizou-se, para isso, um algoritmo baseado na inserção de pontos que resultem em

economias nos roteiros obtidos. Observou-se que o modelo de Programação Inteira procura minimizar a distância total percorrida maximizando as cargas nos caminhões. Já o modelo heurístico procura somente minimizar as distâncias percorridas, porém em alguns casos, maximizou as cargas nos caminhões.

Rosário (2002) apresentou proposta de solução utilizando o problema das p -medianas para a localização de unidades de saúde 24 horas no município de Curitiba/PR. Foi feita a distribuição espacial das unidades de saúde 24 horas com o objetivo de minimizar a distância média do deslocamento dos usuários, desde suas residências até a unidade de saúde mais próxima. Foram abordados os Algoritmos Genéticos, o algoritmo as p -medianas de Teitz e Bart e o Diagrama de Voronoi, sendo este utilizado após achar onde deveriam ser implantadas as p -medianas, qual a área da população que deveria deslocar para cada unidade de saúde, encontrando em cada ponto do município qual a mediana mais próxima.

Corrêa (2000) propôs um algoritmo para o problema das p -medianas capacitado que otimiza e designa os candidatos ao vestibular da Universidade Federal do Paraná para os locais de prova mais próximos de suas residências, sendo abordado duas heurísticas adaptadas ao problema. A primeira é baseada no Algoritmo Genético que apresenta operadores genéticos usuais e um operador heurístico chamado “permutação direcionada”. A segunda heurística, Busca e Tabu, utilizando memória de curto e longo prazo para a realização da busca.

Smideele (2001) estudou a distribuição e relocação das unidades de farmácia dentro da área urbana do município de Pato Branco/PR. Utilizando as coordenadas dos pontos das atuais farmácias e aplicando Algoritmo Genético e a heurística de Teitz e Bart aperfeiçoou a menor distância a ser percorrida pelos usuários. O resultado final mostrou que realocando as posições das unidades farmacêuticas, ocorreu um ganho de 81,38% na distância mínima de cada bairro a farmácia mais próxima. E levando em consideração a opção de diminuir o número de unidades das 38 na época do estudo para 25, ocorreu um ganho de 57,86% nesta mesma distância mínima entre bairros e unidades.

Rozental (2006) realizou trabalho na localização de Shopping Center de Vizinhança. O estudo considerou a construção de seis shoppings no bairro da Barra da Tijuca no município do Rio de Janeiro/RJ. Foi levantado discretização da população segundo setores censitários, com base do senso realizado pelo IBGE. Neste trabalho desenvolveu-se técnica para achar o centro de gravidade de cada

setor em decorrência do número de residentes, utilizando uma heurística semelhante ao Diagrama de Voronoi, onde ainda levou em consideração as limitações geográficas do bairro (por ser uma região montanhosa) e as vias de tráfego (a fim de evitar congestionamentos nas proximidades de instalação da facilidade).

Lobo (2003) apresenta tese para dimensionamento e otimização locacional de unidades de educação infantil. Desenvolveu-se em primeiro lugar, um aplicativo para ver as quantidades necessárias de unidades, bem como os custos necessários para gerar as unidades, levando em conta dados pré-estabelecidos pela legislação, como contagem de alunos por turno, idade, além dos custos para montar uma unidade de ensino, entre outros. Após estabelecer um número determinado de unidades necessárias, parte para a localização dos estabelecimentos, utilizando-se dos dados gerados pelo censo do IBGE, como quantidade de filhos, renda familiar, entre outros. O algoritmo utilizado foi o Diagrama de Voronoi.

CAPÍTULO IV

4 PROBLEMAS DE LOCALIZAÇÃO DE FACILIDADES

4.1 INTRODUÇÃO

Os Problemas de Localização de Facilidades tratam do problema de localizar a melhor localização, em uma área específica, para a instalação de uma facilidade de serviços, como postos de saúde, postos do Corpo de Bombeiros, módulos policiais entre outros.

Os problemas de localização dividem-se em dois tipos: a localização de centros e a localização de medianas. O primeiro consiste em determinar centros que minimizam a maior distância a ser percorrida, ou seja, minimizam a distância até o ponto mais crítico a ser definido pela facilidade, e por isso, é chamado de “problema de localização minimax” (SAMPAIO, 1999).

Já o problema de localização de medianas busca minimizar a distância média, ou seja, minimizar a soma de todas as distâncias das facilidades aos vértices de um grafo. A localização ótima da facilidade é definida então como mediana, assim entre os p -centros tem-se p -medianas. Quando as medianas possuem determinada capacidade, não podendo cada centro ultrapassar uma determinada restrição, por exemplo, capacidade do depósito, capacidade de alunos que um local de provas de concurso pode concentrar, capacidade colégios por viaturas do BPEC, entre outros, temos o problema das p -medianas capacitado, modelo este que será adotado neste trabalho.

4.2 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA DAS P -MEDIANAS

O problema das p -medianas consiste em encontrar pontos (designados medianas) em um conjunto de pontos finitos, de modo a minimizar a distância média ou total entre pontos e medianas. Este tipo de problema teve a sua origem no século XVII, quando Pierre de Fermat levantou a seguinte questão: dados os vértices de um triângulo (três pontos no plano), encontrar o ponto do plano, mediana, tal que a

soma das distâncias entre cada um dos vértices e a mediana seja mínima (REESE, J., apud DIAS, 2005, p. 5).

O problema das p -medianas é um problema clássico de localização de facilidades. Rosário (2001, p. 20) descreve como:

“Seja $G(V,A)$ um grafo não orientado onde V é o conjunto dos vértices do grafo e A é o conjunto de arestas. Deve-se encontrar um conjunto de vértices $V_p \subset V$ (V_p é o conjunto das medianas do problema) com cardinalidade p , tal que a soma das distâncias de cada vértice pertencente a V até seu vértice mais próximo em V_p seja a mínima possível”

Encontrar a solução ótima de um problema deste gênero é teoricamente possível por pesquisa exaustiva, isto é, pela enumeração e avaliação de todas as possíveis soluções (combinações). Contudo, na prática, é inviável seguir essa estratégia uma vez que o número de combinações possíveis aumenta exponencialmente com o tamanho do problema, como foi demonstrado por Garey e Johnson, o problema das p -medianas é NP-completo ou NP-hard (Garey e Johnson apud DIAS, 2005, p. 11). Para ilustrar a resolução de um problema das p -medianas através da enumeração e avaliação de todas as soluções admissíveis, considere uma pequena rede, apresentada na figura 6, onde se pretende localizar duas medianas. Os números nos retângulos que se encontram junto dos vértices representam seus pesos.

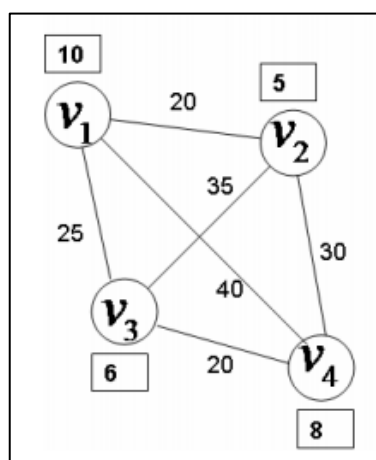


Figura 6: exemplo de uma pequena rede para o problema das p -medianas (DIAS, 2005, p. 9).

A solução ótima do problema pode ser obtida a partir da enumeração e avaliação de cada uma das seis soluções admissíveis. O custo total mínimo, 220, é obtido quando se seleciona como mediana os vértices v1 e v4, sendo o vértice v2 atendido pela mediana v1 e o vértice v3 pela mediana v4 (DIAS, 2005, p. 8).

A avaliação de todas as soluções admissíveis de um problema da p -mediana nem sempre é tão fácil como no exemplo apresentado. Por exemplo, se se pretende localizar 10 medianas numa rede com 50 vértices, o número de soluções a avaliar é $\binom{50}{10} > 10^{10}$. Se fosse possível avaliar um milhão de combinações por segundo, a avaliação de todas as soluções admissíveis do problema demoraria quase três horas. Nota-se que a avaliação de cada combinação implica encontrar a mediana mais próxima de cada um dos 40 vértices que não são medianas. Assim, avaliar cada solução requer pelo menos 400 comparações, 40 multiplicações e 40 adições (DIAS, 2005).

Devido a estas dificuldades de achar solução exata, a partir dos anos 80 foram desenvolvidos algoritmos heurísticos como ferramentas para superar essa dificuldade e chegar a soluções, que embora não dão garantia de serem a ótima, dão uma boa aproximação, com resultados satisfatórios, e ainda com um baixo tempo computacional.

Entre as metaheurísticas que buscam sair dos mínimos ou máximos locais, destacam-se as Redes Neurais Artificiais, *Simulated Annealing*, Busca Tabu, Computação Evolutiva, (incluindo nesta os Algoritmos Généticos, Programação Genética e a Programação Evolutiva) e ainda Algoritmos Híbridos.

Chamado pelos seus autores de híbrido, este método, como o seu nome indica, combina elementos de diversas metaheurísticas tradicionais com o objetivo de encontrar soluções próximas do ótimo para o problema das p -medianas. Na sua essência este algoritmo é similar ao GRASP.

A heurística GRASP é um método iterativo multiarranque, onde em cada iteração é usado um algoritmo construtivo guloso aleatorizado para gerar uma solução admissível, que é, em seguida, submetida a um processo de melhoramento por pesquisa local (DIAS, 2005).

A seguir são apresentados os métodos utilizados neste trabalho.

4.3 PROBLEMAS DAS P -MEDIANAS COMO PROBLEMA DE PROGRAMAÇÃO LINEAR INTEIRA BINÁRIA

O problema das p -medianas pode ser formulado como um Problema de Programação Linear Inteira Binária (CHRISTOFIDES, 1975).

Seja $x_{i,j}$ uma matriz de alocação, onde:

$x_{i,j} = 1$, se o vértice x_j é alocado ao vértice x_i .

$x_{i,j} = 0$ se o vértice x_j não é alocado ao vértice x_i .

$x_{i,i} = 1$ indica que o vértice x_i é um vértice mediana e

$x_{i,i} = 0$ caso contrário.

Considere $d_{i,j}$ a matriz de distância ponderadas, isto é, a matriz de distância com cada coluna de j multiplicada pelo peso v_j

Desta forma o problema é formulado como sendo:

$$\text{Mimimizar } F = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n d_{i,j} \cdot x_{i,j}$$

$$\text{Sujeito a } \sum_{i=1}^n x_{i,j} = 1 \quad \text{para } j = 1, \dots, n \quad (4.3.1)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{i,i} = p \quad (4.3.2)$$

$$x_{i,j} \leq x_{i,i} \quad \text{para todo } i, j = 1, \dots, n \quad (4.3.3)$$

$$x_{i,j} = 0 \text{ ou } 1 \quad (4.3.4)$$

Restrições:

- 4.3.1 garante que todo vértice x_j é alocado a um e apenas um vértice-mediana x_i .
- 4.3.2 garante que existem exatamente p vértices medianas.
- 4.3.3 garante que as alocações só podem ocorrer em vértices-medianas.

- 4.3.4 impõem a integralidade, ou seja, $x_{i,j}$ é variável binária, podendo assumir apenas os valores 0 ou 1.

Se o problema for da p -medianas capacitado, então acrescentamos a seguinte restrição:

$$\sum_{j=1}^n q_j \cdot x_{i,j} \leq w_i \cdot x_{ii} \quad \text{para } i = 1, \dots, n \quad (4.3.5)$$

onde q_j representa o peso de cada variável $x_{i,j}$ e a variável w_i determina a capacidade de cada mediana i , podendo ser a mesma para todas as medianas.

4.4 ALGORITMO DAS P -MEDIANAS DE TEITZ E BART

Um das heurísticas mais conhecidas para resolver o problema das p -medianas é o algoritmo de Teitz e Bart (1968). Esta heurística é baseada na substituição de medianas da solução e seu objetivo é, a partir de uma solução inicial, melhorar o valor da função objetivo em cada interação. A implementação computacional dessa heurística não é considerada difícil.

Ressalta-se que este algoritmo apenas indica quais são os vértices que minimiza a soma das distâncias aos demais vértices não escolhidos, porém o algoritmo não indica quais vértices serão atendidos pelas medianas. Para tanto, após a execução do algoritmo de Teitz e Bart e a obtenção de um conjunto solução de medianas, neste trabalho adotou-se o Algoritmo de Gillet e Johnson, detalhado na sequência.

Muitos trabalhos partem de uma solução gerada por uma metaheurística, como Algoritmos Genéticos, Busca Tabu, etc., como solução inicial para o algoritmo Teitz e Bart.

4.4.1 Conceitos para o Algoritmo de Teitz e Bart

Seja $G(V,A)$ um grafo; $v_i \in V$. Se G é um grafo orientado, segundo Christofides (1975), tem-se que:

- Número de *out-transmission* é a distância total a ser percorrida desde o vértice v_i a todos os outros vértices do grafo, é dado por:

$$\sigma_o(v_i) = \sum_{v_j \in V} w_j \cdot d(v_i, v_j)$$

onde $\sigma_o(v_i)$ é o número de *out-transmission* do vértice v_i e $d(v_i, v_j)$ é a distância entre os vértices v_i e v_j , sendo w_j o peso associado ao vértice v_j .

- Número de *in-transmission* é a distância total percorrida a partir de todos os vértices do grafo até o vértice v_i , e é dado por:

$$\sigma_i(v_i) = \sum_{v_j \in V} w_j \cdot d(v_j, v_i)$$

onde $\sigma_i(v_i)$ é o número de *in-transmission* do vértice v_i e $d(v_j, v_i)$ é a distância entre os vértices v_j e v_i , sendo w_j o peso associado ao vértice v_j ,

- \bar{v}_o é vértice chamado de *out-median* se, entre todos os vértices do grafo, reproduz a menor distância total de si próprio até os outros vértices:

$$\sigma_o(\bar{v}_o) = \min_{v_i \in V} [\sigma_o(v_i)]$$

- \bar{v}_i é vértice chamado *in-median* se entre todos os vértices do grafo, é aquele que produz a menor distância total desde todos os vértices até ele mesmo, ou seja,

$$\sigma_o(\bar{v}_i) = \min_{v_i \in V} [\sigma_i(v_i)]$$

Desta forma, para o problema de se encontrar as p -medianas, considere as seguintes informações:

- $V_p \subset V$ e $|V_p| = p$
- $d(V_p, v_j) = \min_{v_i \in V_p} [d(v_i, v_j)]$ e $d(v_j, V_p) = \min_{v_i \in V_p} [d(v_j, v_i)]$
- $\sigma_o(V_p) = \sum_{v_j \in V} w_j \cdot d(V_p, v_j)$ e $\sigma_i(V_p) = \sum_{v_j \in V} w_j \cdot d(v_j, V_p)$

Um conjunto de vértices é *p-out-median* se, entre todos os conjuntos de p -vértice do grafo é aquele que produz a menor distância total desde si próprio até todos os outros vértices, ou seja: $\sigma_o(\overline{V_p}) = \min_{V_p \subset V} [\sigma_o(V_p)]$.

Por outro lado, um conjunto de p vértices é *p-in-median* se, entre todos os outros conjuntos de p -vértices do grafo, é aquele que produz a menor distância total desde todos aos outros vértices até si próprio.

Como o problema das p -medianas tratado neste trabalho não é referente a um grafo orientado, a *p-in-median* e a *p-out-median* se equivalem, bem como os números de *in-transmission* e *out-transmission*. Desta forma, o objetivo é encontrar um conjunto V_p em V para qual o número de transmissão seja mínimo.

Christofides (1975) demonstrou que existem ao menos um subconjunto $V_p \subset V$, contendo p vértices para qual $\sigma_o(V_p) \leq \sigma_o(Y_p)$, para qualquer conjunto Y_p arbitrário de p vértices do grafo $G(V, E)$, garantindo que a solução ótima para o problema das p -medianas encontra-se em um subconjunto de vértices de V .

4.4.2 Algoritmo de Teitz e Bart

A seguir são descritos os passos necessários para a execução do algoritmo de Teitz e Bart:

PASSO 1

Através de algum critério estabelecido ou aleatoriamente selecione um conjunto S , com $|S| = p$ para formar uma aproximação inicial para as p -medianas;

PASSO 2

Rotule todos os vértices $V_i \notin S$ como **não avaliados**;

PASSO 3

Enquanto existirem vértices **não avaliados** em $V - S$. faça:

- a) Selecione um vértice $V_i \in V - S$, **não analisado**, e calcule a redução $\Delta_{i,j}$ do Número de transmissão, para todo $v_j \in S$:

$$\Delta_{i,j} = \sigma(S) - \sigma(S \cup \{v_i\} - \{v_j\});$$

- b) Faça $\Delta_{j,0} = \max_{v_i \in S} [\Delta_{i,j}]$;

- c) Se $\Delta_{i,j} > 0$ faça $S \leftarrow (S \cup \{v_i\} - \{v_{j,0}\})$ e rotule $v_{j,0}$ como **analisado**;

PASSO 4

Se, durante a execução do PASSO 3, houver alguma modificação no conjunto S , volte ao PASSO 2, caso contrário, PARE, e apresente o conjunto S com uma aproximação para a solução do problema das p -medianas.

4.5 ALGORITMO DE GILLET E JOHNSON

Como já comentado, após achar o conjunto aproximado das p -medianas pelo algoritmo de Teitz e Bart, é necessário designar cada vértice, não mediana,

para a mediana mais próxima a ele, respeitando quando for o caso, a capacidade de cada mediana.

O método heurístico utilizado para designar os colégios estaduais às viaturas atendidas pelo BPEC foi baseado no trabalho de Costa (1997), que apresenta o algoritmo de GILLET e JOHNSON (1973) com pequenas modificações.

O algoritmo básico de Gillet e Johnson é detalhado a seguir:

PASSO 1:

Para cada vértice i não designado, seja $L_1(i)$ a mediana mais próxima a i e $L_2(i)$ a segunda mediana mais próxima a i ;

PASSO 2:

Para cada ponto i , calcule a razão: $r(i) = \frac{L_1(i)}{L_2(i)}$ e todos os vértices são colocados em uma lista de designação, em ordem crescente pelos valores de $r(i)$. Desta forma a designação começa pelos primeiros elementos da lista, e no caso das p -medianas capacitado, a designação é feita até o momento em que se esgota a capacidade de uma mediana;

PASSO 3

Quando um vértice é designado para uma mediana que já está com sua capacidade esgotada, a razão $r(i)$ é recalculada para todos os vértices ainda não designados, considerando apenas as medianas ainda com capacidade disponível. A designação continua até todos os pontos serem designados.

Corrêa (1999) relata que através do cálculo de $r(i)$, procura-se conhecer a “urgência” [grifo do autor] em fazer a designação de um vértice em relação aos demais, pois quanto menor for o valor de $r(i)$, maior será a urgência, já que a segunda mediana mais próxima fica em posição bem pior em relação ao vértice do

que a primeira. Em seu estudo de designar os candidatos aos locais de prova do processo seletivo do vestibular da Universidade Federal do Paraná, propõem que o cálculo seja feito pela diferença ao invés da razão entre o primeiro e segundo local de prova mais próximos da residência de um candidato. Quando o objetivo for minimizar a soma total das distâncias percorridas o cálculo da diferença será sempre apropriado (CORRÊA, 1999, p. 44-3).

Com base nisto, na designação dos colégios atendidos pelo BPEC em Curitiba utilizou-se a diferença entre a distância da primeira e segunda via/mediana mais próxima.

CAPÍTULO V

5 ROTEIRIZAÇÃO DE VEÍCULOS

5.1 INTRODUÇÃO

O objetivo geral do problema de roteirização de veículos é minimizar a distância total a ser percorrida, assim como a frota de veículos que deve se utilizada para atender a demanda, visando minimizar o custo total de transporte, maximizar a produtividade, e conseqüentemente a satisfação dos usuários que depende dos serviços (ZAMBONI, 1996), e que no caso do presente estudo, são os alunos, direção e comunidade escola, que poderão contar com um atendimento mais rápido para a chegada de uma equipe do BPEC.

Assim como o problema das p -medianas, os problemas relacionados com roteirização de veículos também são problemas NP- Hard, ou seja, o número de operações cresce exponencialmente para chegar a uma solução exata. Seja n o número de vértices de um grafo a ser visitado (cidades, empresas, etc.), a quantidade de roteiros possíveis é da ordem de $n!$ no caso de um grafo não simétrico. Se $n = 20$, existem 3.628.800 de roteiros possíveis a serem visitados, que cai pela metade se a matriz de distância for simétrica.

Desta forma, embora possível a formulação e resolução exata para roteirização de veículos, tem um custo computacional inviável de acordo com o aumento de n .

Segundo Bodin et al. (apud COSTA, 1997, p. 22), os problemas básicos de roteirização de veículos são: o problema do caixeiro viajante, o problema do carteiro chinês, o problema dos múltiplos caixeiros viajantes, o problema de roteirização de nós com um único depósito e múltiplos veículos (problema clássico de roteirização de veículos), o problema de roteirização de nós com múltiplos depósitos e múltiplos veículos, o problema de roteirização de nós com um único depósito, múltiplos veículos e demandas estocásticas e o problema do carteiro chinês capacitado ou não.

Além disso, se além da melhor rota forem realizadas considerações sobre os horários que os locais devem ser visitados, tem-se um Problema de Roteirização e *Scheduling*.

Também existem trabalhos relacionados com o problema do Caixeiro Viajante com Coleta de Prêmios (PCVCP), conhecido na literatura como *Prize Collecting Traveling Salesman Problem* (PCTSP), detalhado inicialmente em 1985 por Egon Balas. O problema consiste em um caixeiro viajante que coleta um prêmio w_i , não negativo, em cada cidade i que visita e paga uma penalidade p_l para cada cidade que deixa de visitar. O problema consiste em minimizar o somatório dos custos da viagem e penalidades, enquanto inclui na rota um número suficiente de cidades que permitam coletar um prêmio mínimo w_o (CHAVES, 2003, p. 9).

5.1.1 A origem do problema

Os problemas de roteamento lidam em sua maior parte com circuitos ou *tours* sobre os pontos de demanda ou oferta. Estes pontos podem ser representados por cidades, postos de trabalho ou atendimentos, depósitos, etc. Entre os tipos de circuitos, o mais importante é o denominado hamiltoniano. Seu nome é devido a Willian Rowan Hamilton, que, em 1857, propôs um jogo que denominou *Around the World*. O jogo era feito sobre um dodecaedro em que cada vértice estava associado a uma cidade importante da época. O desafio consistia em encontrar uma rota através do dodecaedro que iniciasse e terminasse em uma mesma cidade, sem nunca repetir uma visita (GOLDBARG et al., 2000).

Desta forma, uma solução para esse jogo passou a ser denominado ciclo hamiltoniano, embora Hamilton não fosse o primeiro a propor esse problema (BIGGS et al. 1986, apud GOLDBARG et al., 2000).

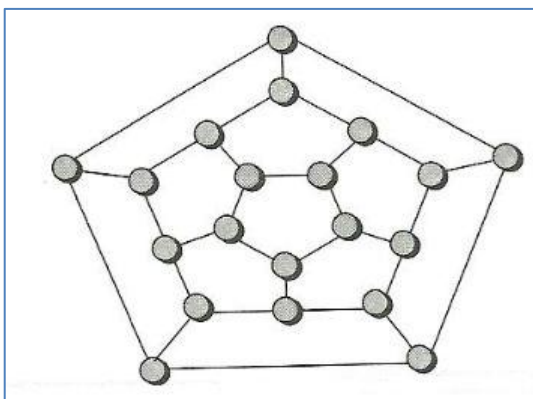


Figura 7: jogo proposto por William Rowan Hamilton (GOLDBARG et al., 2000).

5.1.2 O Problema do Caixeiro Viajante – PCV

Não se sabe ao certo quem foi o precursor do termo Caixeiro Viajante, em inglês "*The travelling salesman problem*" (*TSP*). Nos anos de 1800, problemas relacionados com o PCV começaram a ser desenvolvidos por dois matemáticos: o escocês William Rowan Hamilton e o britânico Thomas Penyngton Kerkman. Porém a forma geral do PCV parece ter sido, pela primeira vez, estudada por matemáticos nos anos de 1930 nas Universidades de Harvard e Viena. O problema foi posteriormente estudado por Hassler Whitney e Merrill Flood em Princeton (APPLEGATE et al., 2006, p.2). O nome do problema ficou globalmente conhecido por volta do ano 1950, sendo que o primeiro artigo que se propôs uma solução para o problema foi publicado por Dantzing, Furkerson e Johnson em 1954, no *Jornal da Sociedade de Pesquisa Operacional da América*. (ZAMBONI, 1997, p.24).

O Problema do Caixeiro Viajante envolve um veículo que deve partir de um depósito central, percorrer $(n-1)$ cidades e voltar à origem, podendo ser simétrico ou não, considerando $C = [c_{ij}]$ a matriz de custo para ir do nó i para o nó j o mesmo valor para ir do nó j para o nó i , considerando um único depósito inicial e um único veículo, devendo passar uma única vez em cada nó (ciclo hamiltoniano).

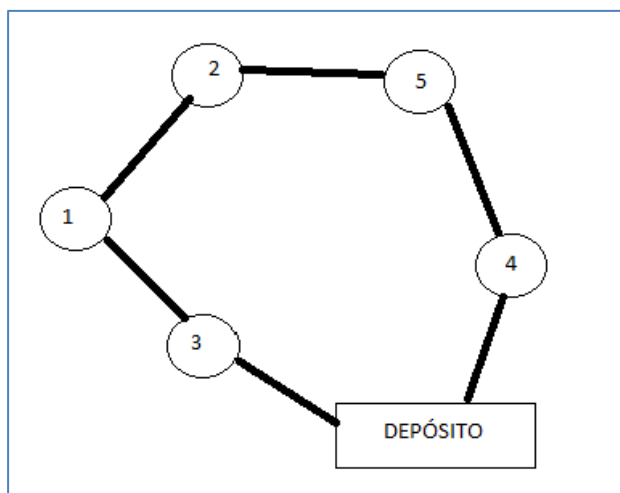


Figura 8: PCV

5.1.3 Descrição dos Métodos Exatos e Heurísticos para o Problema do Caixeiro Viajante

A seguir serão descritos os principais métodos existentes, exatos e heurísticos, para a resolução do Problema do Caixeiro Viajante, e na sequência são detalhados os dois algoritmos que utilizou-se neste estudo.

- a) Programação Linear Inteira Binária;
- b) Procedimento do vizinho mais próximo;
- c) Procedimentos dos savings de Clarke e Wright;
- d) Procedimentos de inserção:
 - inserção mais próxima;
 - inserção mais econômica;
 - inserção arbitrária;
 - inserção do mais distante;
 - inserção mais rápida;
 - inserção da cobertura convexa;
 - inserção do maior ângulo.
- e) Aproximação utilizando árvore de mínima arborescência (*Minimal Spanning Tree*);
- f) Heurística de Christofides;
- g) Gerador de fusão mais próxima;

- h) Utilização de Redes Neurais;
- i) Algoritmos Genéticos;
- j) Métodos termodinâmicos (*Simulated Annealing*);
- k) Busca Tabu;
- l) GRASP (*Greedy Randomized Adaptive Search Procedure*);
- m) Colônia de Formigas;
- n) VNS (*Variable Neighborhood Search*);
- o) Relaxação Lagrangeana.

Após a solução apresentada por um desses algoritmos citados acima, pode-se ainda utilizar um procedimento de melhorias de rotas. Segundo Golden et al. (Costa, 1997, p. 43), talvez o melhor procedimento de melhoria de rotas conhecido seja a heurística de troca *K-opt* de Lin e Kernighan (1973), como as heurísticas 2-opt e 3-opt.

A tabela a seguir apresenta uma visão panorâmica da importância do PCV, com algumas pesquisas em busca de melhorias na solução:

Tabela 4: Trabalhos sobre o PCV

Ano	Pesquisador	Trabalho
1954	Dantzig et al.	Trabalho referência para o PCV
1972	Christofides e Eilon	Métodos exatos
1973	Laporte e Norbert	Métodos exatos
1973	Lin e Kernighan	Métodos heurísticos
1980	Carpaneto e Toth	Critérios para algoritmos B&B
1980	Golden et al.	Heurísticas para o PCV
1980	Kanellakis e Papadimitriou	Busca local
1980	Crowder e Padberg	B&B
1981	Balas e Christofides	Restrições Lagrangeana para o PCV
1983	Adrabinski	Experimentos computacionais para heurísticas
1985	Fleischmann	Algoritmo com uso de planos de cortes
1985	Goldberg e Lingle	Algoritmos genéticos
1985	Grefenstette et al.	Algoritmos genéticos
1985	Cerny	Métodos termodinâmicos (<i>Simulated Annealing</i>)
1987	Laarhoven e Aarts	Métodos termodinâmicos (<i>Simulated Annealing</i>)
1988	Burr	Métodos elásticos

Continuação Tabela 4: Trabalhos sobre o PCV

Ano	Pesquisador	Trabalho
1990	Johnson	Otimização local
1991	Ulder	Algoritmos genéticos
1991	Whitley	Algoritmos genéticos
1991	Glover	Busca tabu
1991	Miller e Pakny	Métodos exatos
1992	Gendreau <i>et al</i>	Procedimentos de pós-otimização
1993	Reeves	Métodos aproximados
1995	Junger et al.	Relaxação e B&Cut
1995	Potts e Van de Velde	Heurística híbrida de k-substituição
1996	Chatterjee et al.	Algoritmos genéticos
1996	Potvin	Algoritmos genéticos
1997	Somhom et al.	Redes neurais

Fonte: GOLDBARG, M. C et al., 2000.

5.2 DESCRIÇÃO DOS ALGORITMOS DO PVC UTILIZADOS NESTE TRABALHO

5.2.1 Inserção do vizinho mais próximo

Esta heurística consiste em, partindo de um vértice qualquer do grafo, estruturar o caminho hamiltoniano dirigindo-se, a cada passo, ao vértice mais próximo do vértice anterior (BELLMORE et. *al.*, apud GOLDBARG, 2000, p. 429). A complexidade dessa heurística é $O(n^2)$. Este algoritmo utiliza a estratégia gulosa, que é caracterizado pelo fato de, a cada passo, o algoritmo tomar a decisão de menor custo (nó mais próximo da extremidade). Uma variante dessa heurística permite que a inclusão possa ocorrer em ambos os nós extremos do ciclo parcial que se forma.

Heurística de Belmmore e Nemhauser

Início

- 1º) **Escolher** um vértice inicial v_1 ;
- 2º) **Encontrar** os vértice v_k **mais próximos** do **último vértice** (dos vértices extremos) incluindo(s) na solução;

Inserir o vértice v_k após o último vértice (o seu vizinho mais próximo);
 3º) **Caso** o ciclo formado seja Hamiltoniano **pare**;
 4º) **Caso** contrário **volte à etapa 2.**

Fim

Quadro 1: algoritmo do vizinho mais próximo.

Um exemplo da aplicação da heurística descrita acima, está no grafo da figura 9:

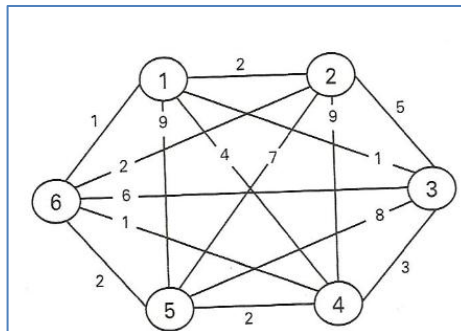


Figura 9: grafo (GOLDBARG, M. C. et al., 2000).

Aplicando a heurística do vizinho mais próximo, indicada na sequência da figura 10:

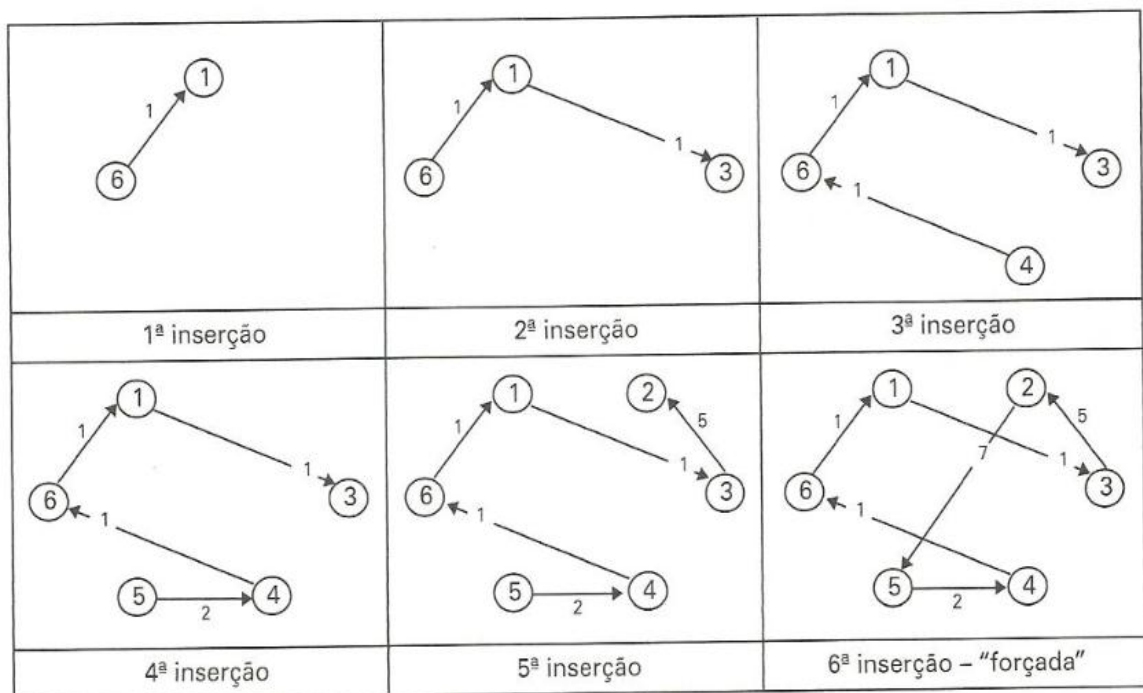


Figura 10: inserção do vizinho mais próximo, GOLDBARG, M. C. et al., (2000).

5.2.2 Heurística de k-substituições ou k-opt

Heurísticas de substituição são estratégias de melhoria e partem de um ciclo hamiltoniano inicial. Um exemplo clássico dessa heurística encontra-se no trabalho de Lin e Kernighan (1973).

A heurística de troca de arcos inicia por uma rota qualquer, é diminuída a distância total da mesma, permutando k arcos da rota por outros k arcos, até que nenhuma melhoria seja possível. O esforço computacional para testar todas as possíveis trocas sugeridas pela remoção de k arcos cresce exponencialmente na ordem de $\frac{n!}{(n-k)!k!}$.

A seguir é apresentado o algoritmo k-substituições ou k-opt.

<p>Início</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Iniciar por um ciclo hamiltoniano $\{v_1, v_2, v_3, \dots, v_1\}$; 2) Remover K vértices do ciclo corrente, tornando-o incompleto; 3) Construir todas as soluções viáveis que contenham o ciclo anterior; 4) Escolher a melhor solução entre as encontradas; 5) Testar as condições de parada (número de interações, elementos em um subconjunto de controle, limite para o valor da solução, etc.), prosseguindo ou não a nova interação. <p>Fim</p>

Quadro 2: algoritmo k-substituições ou k-opt.

Aplicando o procedimento ao grafo da figura 11 e considerando $k=2$, a seguir é apresentado um ciclo desta heurística:

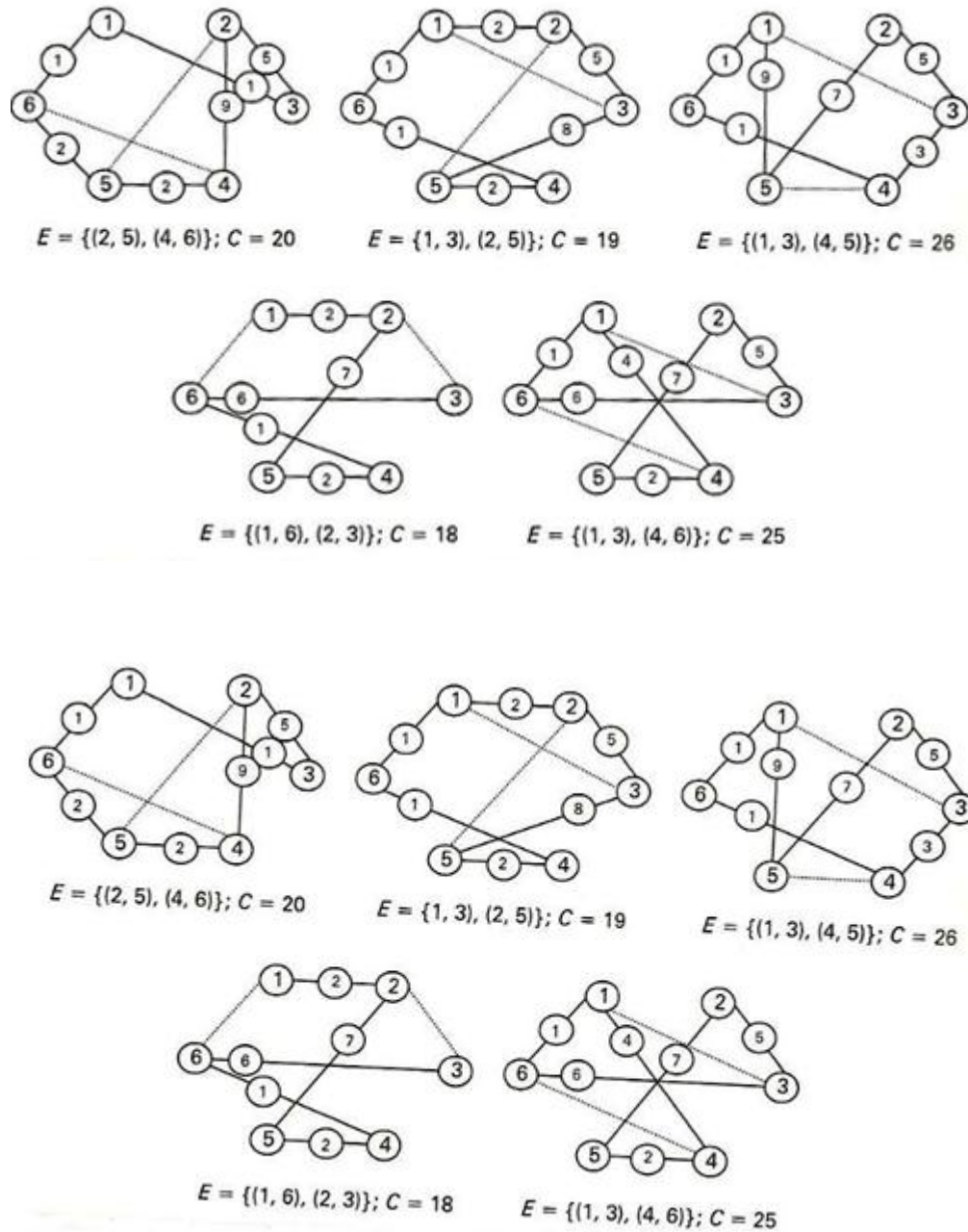


Figura 11: exemplo da melhoria de rota 2 K-opt, GOLDBARG, M. C. et al., (2000).

CAPÍTULO V

6 METODOLOGIA EMPREGADA NO TRABALHO

6.1 COLETA DOS DADOS

6.1.1 Colégios estaduais de Curitiba/PR

O foco deste trabalho são os colégios estaduais atendidos pelo BPEC no município de Curitiba, uma vez que a maioria dos chamados são gerados por esses estabelecimentos, e que o Programa Patrulha Escolar, que consiste na aplicação das cinco etapas já descritas anteriormente é aplicado apenas na rede estadual de ensino, exceto algum pedido de palestra interativa, que poderá ser atendido para as demais modalidades de mantenedoras.

A relação dos estabelecimentos de ensino foi adquirida na Coordenação Estadual da Patrulha Escolar junto à Secretaria Estadual de Educação do Paraná em dezembro de 2010. Ao total são 165 estabelecimentos de ensino, o anexo C mostra esta relação. O Colégio da Polícia Militar do Paraná (CPM) ficou de fora deste estudo, por sua característica militar, as ocorrências que por ventura possam ser geradas neste estabelecimento acabam sendo resolvidas ou encaminhadas diretamente pela instituição.

Para efeito de sigilo do processo diário de planejamento e deslocamento das viaturas do BPEC, os nomes dos colégios que serão designados, são denominados neste trabalho por números de 1 a 164, não tendo relação alguma a ordem dos colégios apresentados no anexo C com a numeração apresentada nos resultados. Desta forma, as figuras e tabelas com os resultados, embora apresentem a realidade para aqueles dados, sofrerá uma decodificação relacionando o número do colégio com o seu nome real, sendo esta operação realizada apenas no Setor de Planejamento, Estatística e Operações do Batalhão, também denominado P/3.

6.1.2 Escala de serviço diário

O Setor de Planejamento, Estatística e Operações do BPEC forneceu as informações pertinentes ao meio operacional. O presente trabalho foi feito com base na escala de serviço de 01 de abril de 2011, embora esta mesma escala de serviço já estivesse repetindo desde o início do ano de 2011. A figura 12 ilustra um modelo de escala de serviço, onde foram suprimidas as informações relativas ao 3º e 4º pelotões da 1º Cia.PM/BPEC, uma vez que se refere a região metropolitana de Curitiba, que não são pertinentes ao trabalho.

Com base nesta escala foi feito o tratamento diferenciado entre os dois turnos de serviço, uma vez que na época, o primeiro turno, das 07h00min. às 15h00min contava com uma equipe policial a mais de serviço. Desta forma, essa diferença de viatura a menos no segundo turno, ocasionou uma distribuição diferenciada das equipes de serviço em relação aos estabelecimentos de ensino. As escolas atendidas no primeiro turno de serviço podem não ser as mesmas atendidas por uma equipe do mesmo setor no segundo turno.

Por base nesta escala de serviço, foram separados os colégios de acordo com cada pelotão e também de acordo com a unidade operacional de área (UOA).

Também foram separados os colégios que atualmente são atendidos por cada equipe de serviço, para poder realizar a comparação do atual atendimento pela proposta aqui apresentada ao final do estudo.

ESTADO DO PARANÁ POLÍCIA MILITAR SUBCOMANDO-GERAL BATALHÃO DE PATRULHA ESCOLAR COMUNITÁRIA 1ª COMPANHIA DE PATRULHA ESCOLAR COMUNITÁRIA ESCALA DE SERVIÇO PARA O DIA 11 de abril de 2011 (segunda-feira)			
visto do cmdo da cia			
Escala Vtrs Patrulhamento e Atendimento e Ocorrência Curitiba e Região Metropolitana			
1º Turno das 07h00 às 15h00			
Coord. Pol. Unidade 07h00 às 23h00: xxxx			
Área	Btl que atende	VTR	Bairros Atendidos
1º Pel	12º BPM	8442	Centro, Rebouças, Prado Velho, Parolin, Água Verde, Batel, Vila Isabel, Bigorrião, Santa Quitéria, São Francisco, Campina do Siqueira, Centro Cívico, Seminário
1º Pel	12º BPM	8433	Campo Comprido, Mossungue, Santo Inácio, Cascatina, Orleans, São Braz, Santa Felicidade, Butiatuvinha, São João, Lamenha Pequena, Pilarzinho, Mercês, Vista Alegre, Bom Retiro.
1º Pel	20º BPM	8426	São Lourenço, Ahú, Boa Vista, Barreirinha, Taboão, Cachoeira, Santa Cândida, Abranches, Tingui, Cabral, Juvevê, Hugo Lange, Jardim Social, Alto da XV.
1º Pel	20º BPM	8428	Cristo Rei, Jardim das Américas, Tarumã, Vila Oficina, Bairro Alto, Cajuru, Guabirota, Jardim Botânico, Alto da Glória, Bacacheri, Capão da Imbuia.
2º Pel	13º BPM	7043	CIC, Fazendinha, Vila Augusta, Capão Raso, Pinheirinho, Sítio Cercado, Portão, Ganchinho, Caiuá.
2º Pel	20º BPM	8432	Hauer, Boqueirão, Uberaba, Alto Boqueirão
2º Pel	13º BPM	8435	Vila Guaira, Vila Fanny, Vila Lindóia, Tatuquara, Umbará, Caximba, Campo do Santana, Xaxim, Novo Mundo, São Miguel.
2º Turno das 15h00 às 23h00			
Coord. Pol. Unidade 15h às 23h: xxxx			
Área	Btl que atende	VTR	Bairros Atendidos
1º Pel	12º BPM	8442	Centro, Rebouças, Prado Velho, Parolin, Água Verde, Batel, Vila Isabel, Bigorrião, Santa Quitéria, São Francisco, Campina do Siqueira, Centro Cívico, Seminário
1º Pel	12º BPM	8431	Campo Comprido, Mossungue, Santo Inácio, Cascatina, Orleans, São Braz, Santa Felicidade, Butiatuvinha, São João, Lamenha Pequena, Pilarzinho, Mercês, Vista Alegre, Bom Retiro.
2º Pel	20º BPM	8427	Tnguí, Boa Vista, Alto da Glória, Bacacheri, Barreirinha, Abranches, São Lourenço, Ahú, Boa Vista, Taboão, Cachoeira, Santa Cândida, Cabral, Juvevê, Hugo Lange, Jardim Social, Alto da XV.
2º Pel	20º BPM	8428	Capão da Imbuia, Boqueirão, Tarumã, Cajuru, Guabirota, Hauer, Uberaba, Alto Boqueirão, Jardim das Américas, Jardim Botânico
2º Pe	13º BPM	8432	Capão Raso, Xaxim, Pinheirinho, Sítio Cercado, Fazendinha, Tatuquara, Umbará, Campo do Santana, Caximba, Ganchinho.
2º Pel	13º BPM	8435	Portão, Novo Mundo, CIC, Vila Guaira, Vila Fanny, Vila Lindóia, Vila Augusta, São Miguel, Caiuá.
OBSERVAÇÕES:			

Figura 12: escala de serviço diário BPEC, Curitiba/PR.

6.1.3 Coordenadas geográficas dos colégios

Com base na escala de serviço apresentada na figura 12 e com os endereços de cada estabelecimento, anexo C, foram plotados os marcadores no aplicativo *Google Earth Pro*, versão 4.2.0180.1134 (beta). Obtendo desta forma as coordenadas geodésicas (sexagesimais) de cada estabelecimento. A figura 13 ilustra a propriedade de um marcador relacionado ao código do colégio E083, com suas coordenadas sexagesimais.

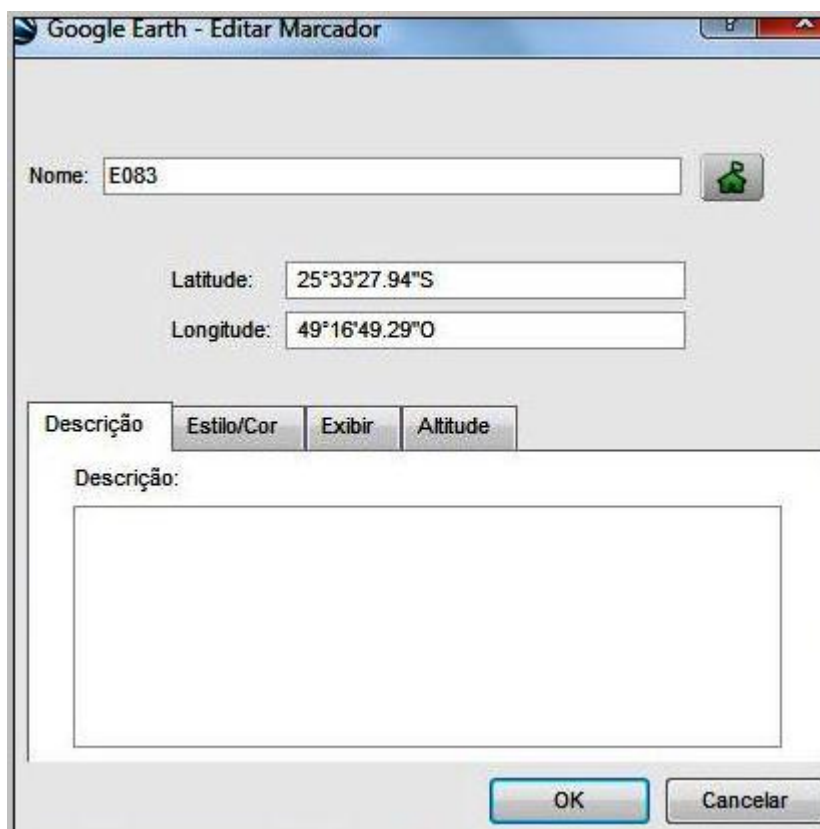


Figura 13: marcador com as coordenadas sexagesimais.

A seguir é apresentada a imagem com a plotagem de cada colégio, sendo que em verde estão representados os colégio estaduais que estão na área de atuação do 20º BPM, em azul na área do 13º BPM e em vermelho no 12º BPM.

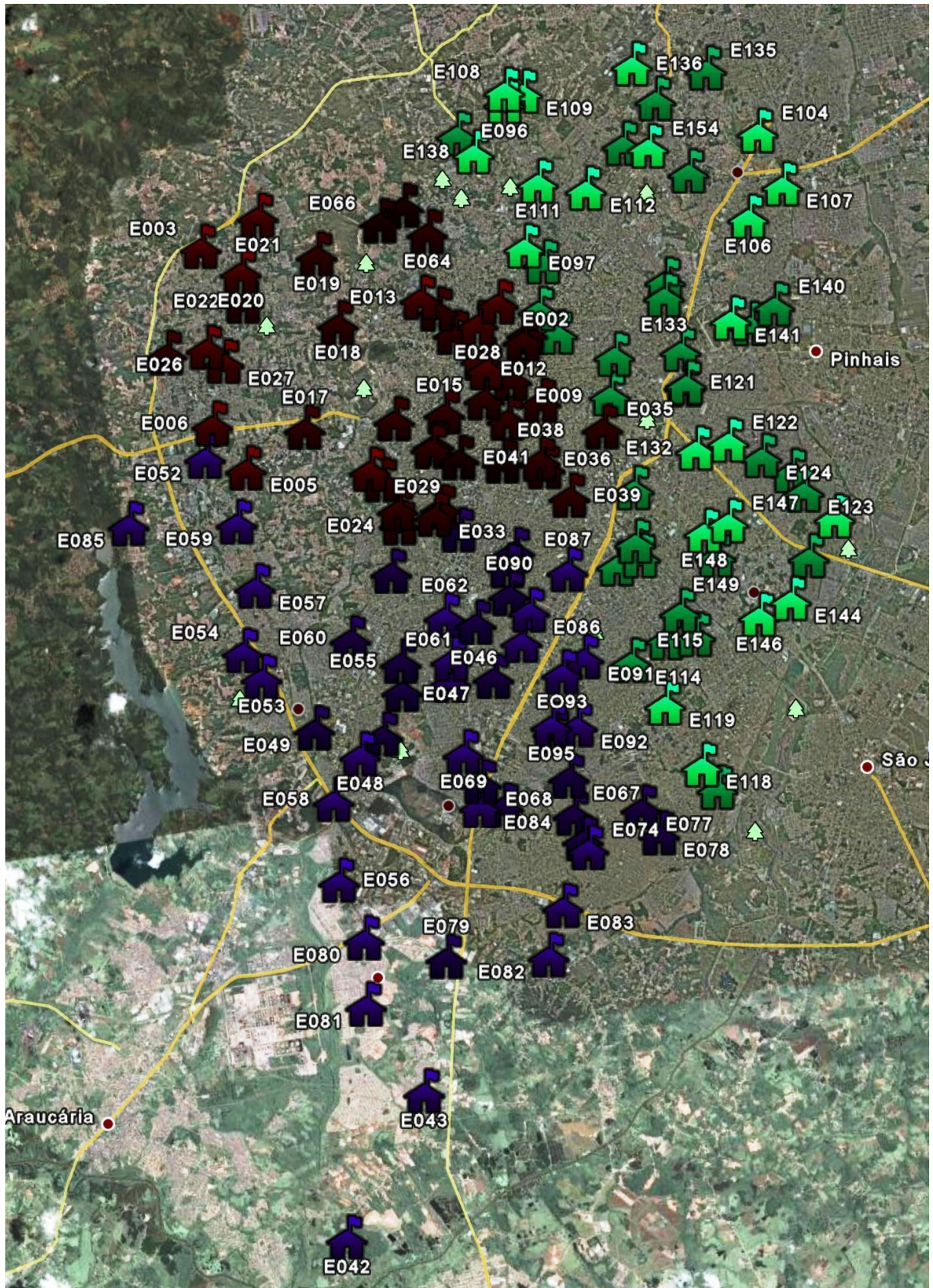


Figura 14: colégios estaduais em Curitiba/PR.

A tabela 5 mostra 10 colégios e suas coordenadas geodésicas, sendo que a relação completa pode ser encontrada no anexo D.

Tabela 5: coordenadas geodésicas

OPM	Cód. Colégio	Latitude	Longitude
12º BPM	1	25°26'20.71"	49°17'30.88"
12º BPM	2	25°24'55.50"	49°16'26.03"
12º BPM	3	25°23'32.22"	49°20'53.22"
12º BPM	4	25°26'20.14"	49°18'18.28"
12º BPM	5	25°26'42.70"	49°20'41.87"
12º BPM	6	25°26'1.47"	49°21'6.88"
12º BPM	7	25°25'40.15"	49°16'49.24"
12º BPM	8	25°26'13.73"	49°16'51.90"
12º BPM	9	25°26'0.88"	49°16'24.42"
12º BPM	10	25°25'24.32"	49°16'3.19"

As coordenadas geodésicas não exprimem a fiel posição de um ponto em um sistema de coordenadas **cartesianas**, devido as suas posições estarem definidas sobre os arcos de graus que formam as latitudes e longitudes da Terra. Deslocando um grau no globo terrestre, estamos percorrendo aproximadamente 111,13 quilômetros. Desta forma, foi utilizado neste trabalho o aplicativo *TCGeo*, elaborado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), mais especificamente pela Coordenação de Geodésia (CGED) no escopo do Projeto Mudança do Referencial Geodésico/Projeto de Infraestrutura Geodésica Nacional (PMRG/PIGN).

O programa foi desenvolvido com o objetivo de colaborar com os usuários que fazem uso das informações espaciais no Brasil e que rotineiramente precisam compatibilizar seus dados a um único sistema de referência. O *TCGeo* opera com três formas de apresentação de coordenadas, normalmente utilizadas em Geodésia, sendo elas: cartesianas, geodésicas (sexagesimais e graus decimais) e planas (projeção UTM).

O aplicativo permite a entrada dos dados de forma manual ou automática, sendo esta última a indicada para entrada de um número grande de coordenadas,

que após a leitura e conversão, gera um arquivo de saída no formato “.txt” com as coordenadas cartesianas (X,Y,Z). A figura 15 demonstra a tela do *TCGeo*.

De posse destas coordenadas, foi adotada a distância euclidiana para determinar a aproximação entre os colégios.

The screenshot shows the TCGeo application window with a menu bar containing 'Processar' and 'Ajuda'. Below the menu bar is a text field for 'Identificação da Estação:'. The main interface is divided into two columns: 'Entrada' (Input) on the left and 'Saída' (Output) on the right. Both columns have identical sections for 'Sistema de Coordenadas' (with radio buttons for SAD - 69 and SIRGAS2000 [WGS84]), 'Coordenadas Geodésicas' (with fields for Latitude, Longitude, Lat. decimal, and Lon. decimal), 'Alt geométrica (m)', 'UTM' (with fields for MC, E (m), and N (m)), and 'Coordenadas Cartesianas' (with fields for X (m), Y (m), and Z (m)). At the bottom left, there is a section for 'Resíduo da Transformação Rede/mapeamento de referência:' with a dropdown menu and a unit indicator 'm'. At the bottom right, there are four buttons: 'Processar', 'Limpar', 'Salvar...', and 'Imprimir...'.

Figura 15: tela aplicativo *TCGeo*.

6.1.4 Relação escola com pelotão e turno de serviço

Com a escala de serviço, foi possível relacionar qual pelotão está responsável atualmente por colégio em cada turno de serviço, bem como relacionar cada prefixo de viatura com o colégio que atende em cada turno.

Com esse levantamento, foi possível mapear a distribuição atual dos colégios, conforme demonstram as tabelas 6 e 7.

Tabela 6
Distribuição atual dos colégios de Curitiba/PR, 1º turno

1º turno: 07h00min. às 15h00min.						
Pelotão	UOA	Prefixo	Alunos	Colégios	Desvio padrão colégios	Desvio padrão alunos
1º pelotão	12º BPM	M8442	33.902	27	3,85	46.423
		M8433	17.395	22		
	13º BPM	M8428	25.568	21		
		M8426	16.094	19		
2º pelotão	20º BPM	M7443	45.755	31		
		M8435	26.650	23		
		M8432	27.467	21		
Total			193.036	164		

Tabela 7
Distribuição atual dos colégios de Curitiba/PR, 2º turno

2º turno: 15h00min. às 23h00min.						
Pelotão	UOA	Prefixo	Alunos	Colégios	Desvio padrão colégios	Desvio padrão alunos
1º pelotão	12º BPM	T8442	33902	27	5,02	10.710,80
		T8431	17395	22		
2º pelotão	13º BPM	T8435	28291	24		
		T8432	44114	30		
	20º BPM	T8427	22484	24		
		T8428	46850	37		
Total			193036	164		

6.2 IMPLEMENTAÇÃO COMPUTACIONAL

6.2.1 introdução

De forma generalizada, adotou-se que cada um dos colégios é um vértice do grafo que pode ser classificado como uma facilidade, ou seja, a mediana que minimiza a distância total dele a todos os demais colégios. Após este agrupamento,

será então adotado como um setor de serviço o conjunto de vértices gerado pela mediana e os vértices ligados a ela.

O principal objetivo deste trabalho é proporcionar uma ferramenta que possa ser utilizada constantemente pelos Comandantes de Companhias do BPEC, e pode ser estendidos aos demais municípios do Paraná, para redirecionar as equipes de acordo com a entrada de novos colégios ou uma mudança temporária de. Diante disto, implementou-se algoritmos exatos e heurísticos, sendo que estes últimos não dependem da aquisição de pacotes comerciais para seu uso diário.

Os algoritmos exatos, tanto das p -medianas como os do roteirização de veículos são pesados computacionalmente, além de necessitarem da compra de licença do aplicativo comercial para rodar os modelos, conseqüentemente, não são uma boa opção prática para utilizar diariamente.

Para o presente trabalho, foi desenvolvido um aplicativo que analisa uma possível solução exata, uma solução heurística, e analisa a situação atual, como base na escala fornecida na figura 12.

Foram implementadas a heurística de Teitz e Bart para achar as p -medianas, o algoritmo Gillet e Johnson para designar cada colégio a sua mediana mais próxima, sendo que este com uma alteração, conforme será exemplificado a seguir. Para determinar se a proposta de reformulação é boa, utilizou-se roteamento das equipes de serviço com os algoritmos heurísticos: inserção do vizinho mais próximo e a melhoria de rota 2-opt. Também foi implementado o modelo exato de Programação Linear Inteira Binária para o problema das p -medianas e de roteirização de veículos.

Utilizou-se a linguagem de programação *Microsoft Visual Basic 6.0* para elaborar a interface do “*DesignaPEC*”, bem como o uso do aplicativo *LINGO 12.0*. Desenvolveu-se uma rotina através do *Visual Basic*, que cria um arquivo modelo, com a extensão “.lgn”, e automaticamente é encaminhado para o *LINGO*, que resolve o problema, e em seguida “devolve” a resposta para que o aplicativo principal dê continuidade nas demais etapas.

A figura 16 mostra a tela do aplicativo denominado “*DesignaPEC*” com suas principais funções.

DESIGNA PEC - DESIGNAÇÃO DAS VIATURAS DO BPEC NOS COLÉGIOS ESTADUAIS DE CURITIBA

BATALHÃO DE PATRULHA ESCOLAR COMUNITÁRIA

<p>CRITÉRIO ALGORITMO</p> <p><input type="radio"/> Exato - Lingo 12</p> <p>Visualização</p> <p><input checked="" type="radio"/> p-medianas</p> <p><input type="radio"/> Roteamento</p> <p><input checked="" type="radio"/> Teitz e Bartz</p> <p>Visualização</p> <p><input type="radio"/> p-medianas</p> <p><input type="radio"/> Roteamento</p>	<p>CRITÉRIOS DE AGRUPAMENTO</p> <p><input type="radio"/> GERAL BPEC</p> <p><input type="radio"/> 1º Pelotão BPEC</p> <p><input type="radio"/> 2º Pelotão BPEC</p> <p><input checked="" type="radio"/> UOA - 12ºBPM</p> <p><input type="radio"/> UOA - 13º BPM</p> <p><input type="radio"/> UOA - 20º BPM</p> <p><input type="text"/> Colégios</p>	<p>CRITÉRIO DESIGNAÇÃO</p> <p><input checked="" type="radio"/> Escolas / VTR</p> <p><input type="radio"/> ALUNOS VRT</p> <p><input type="text"/></p> <p>Margem Alunos</p> <p><input type="text"/> 0</p>	<p>BPEC</p> <p>TURNO</p> <p><input checked="" type="radio"/> 1º TURNO</p> <p><input type="radio"/> 2º TURNO</p> <p>N.º VIATURAS</p> <p><input type="text"/> 2 <input type="text"/> Geral</p>	<p>MANTENEDORA</p> <p><input checked="" type="radio"/> Estadual</p> <p><input type="radio"/> Municipal</p> <p><input type="radio"/> Ambas</p>
<p>DISTRIBUIÇÃO ATUAL</p> <p>Atual Distribuicao</p> <p><input checked="" type="radio"/> Exata</p> <p><input type="radio"/> Heuristica</p> <p><input checked="" type="radio"/> 1º Pelotão <input checked="" type="radio"/> 1º Turno</p> <p><input type="radio"/> 2º Pelotão <input type="radio"/> 2º Turno</p>	<p>LIMPAR TELA ANTERIOR</p> <p><input type="radio"/> SIM</p> <p><input checked="" type="radio"/> NÃO</p> <p>P-MEDIANAS</p> <p>EXECUTAR</p>	<p>Banco de Dados</p> <p>Cadastrar Novos Colegios</p> <p>Excluir Colegios</p> <p>Plotar Colegios</p>	<p>SISTEMA</p> <p>SAIR</p>	

Figura 16: tela do aplicativo “DesignaPEC”.

6.2.2 Funcionalidades do “DesignaPEC”

6.2.2.1 Critérios de agrupamento

O aplicativo possibilita a realização de simulações com três opções diferentes de agrupamento dos colégios, sendo elas a Geral BPEC, Pelotão BPEC e UOA, conforme descrição abaixo:

- Geral BPEC: São considerados todos os estabelecimentos de ensino cadastrados, não sendo considerados os casos das UOAs ou dos pelotões;
- 1º pelotão: colégios pertencentes a atual área de atuação do 1º Pel./1ª Cia.PM/BPEC;
- 2º pelotão: colégios que estão na área de atuação do 2º Pel./1ª Cia.PM/BPEC;
- UOA - 12º BPM: colégios que estão na área de responsabilidade territorial do 12º BPM;

- e) UOA - 13º BPM: colégios que estão na área de responsabilidade territorial do 13º BPM;
- f) UOA - 20º BPM: colégios que estão na área de responsabilidade territorial do 20º BPM.

Figura 17: critérios de agrupamento no “DesignaPEC”.

6.2.2.2 Critério de designação para a capacidade por equipe de serviço

No campo “Critério de designação” escolhe-se a capacidade que cada equipe de serviço pode ter, podendo ser uma das duas a seguir:

Colégios/VTR: esta opção soma o total de colégios de acordo com o critério de agrupamento, por exemplo, se a escolha for área de atuação do 12º BPM, existem 49 colégios, que serão divididos pelo número de viaturas disponíveis.

Neste caso, na hora de realizar a designação, foi adotado o seguinte procedimento, no algoritmo heurístico, para determinar o limite que cada viatura poderá atender:

- a) se o resto do total de colégios dividido pelo número de equipes/viaturas for nulo, então capacidade de cada mediana receberá o resultado desta mesma divisão;
- b) caso o resto seja diferente de zero, então a capacidade será a parte inteira da divisão “número de colégios por número equipes/viaturas” mais um.

Analisando uma situação hipotética: suponha que existam 34 colégios para serem divididos por cinco equipes/viaturas. Desta forma, cada equipe atenderia no máximo $\frac{34}{5} = 6,8$ colégios que adotando o critério dariam sete colégios por viatura, conseqüentemente poderia ocorrer que quatro viaturas atenderiam sete colégios e uma iria atender seis, ocasionando uma distribuição homogênea do número de colégios por viatura.

Agora vamos supor 169 colégios. Logo a capacidade seria $\frac{169}{7} = 24,14$ colégios, ou seja, no máximo 25 colégios para cada viatura. Porém no momento de realizar a designação, pode ocorrer que as seis medianas mais próximas dos colégios fossem atendidas primeiro, ficando com $6 \times 25 = 150$ colégios e a última mediana ficaria com 19 colégios, o que não estaria dentro do critério que cada viatura tenha o mesmo número de colégios, que no máximo poderiam ter um colégio a mais por viatura, evitando o sobrecarregando das equipes de serviço.

Para evitar este inconveniente, na hora da designação foi adotado o seguinte critério: se o resto do total de colégios dividido pelo número de equipes/viaturas for diferente de zero, então primeiro será feita a designação para todos os colégios da parte inteira do quociente. Como ao término irão sobrar colégios sem designação, as capacidades de cada mediana serão aumentadas para mais uma unidade, estes serão designados novamente, um para cada mediana, conforme sua distância a mediana mais próxima.

Exemplificando, seja novamente o exemplo dos 169 colégios e sete viaturas:

1º) a capacidade inicial será igual a 24. Seguindo o algoritmo de Gillet e Johnson, seguem as designações até as sete medianas atingirem sua capacidade, ou seja, até 168 colégios serem designados;

2º) na sequência, capacidade = capacidade + 1 = 25 colégios, calcula-se novamente a lista de “urgência” de designação para os colégios não designados, neste caso apenas um, e ele será designado para a mediana mais próxima, que conseqüentemente terá sua capacidade esgotada, pois já tinha 24 colégios.

Com esta modificação, há a garantia que teremos uma distribuição mais uniforme dos colégios, podendo ocorrer um aumento da distância total a ser percorrida.

Número de alunos por equipe: este critério, embora não apresente as maiores economias como será visto posteriormente, possibilita escolher como capacidade de cada equipe/viatura a média da quantidade de alunos que terá sobre sua responsabilidade, e não mais a média de colégios.

Também existe um inconveniente no algoritmo heurístico, que após ter sido determinada a média de alunos por viatura, nos três critérios de agrupamento, pode-se com enorme facilidade não chegar a uma distribuição que permita ao mesmo tempo, em todos os colégios, a capacidade de alunos abaixo ou igual a média e que todos os estabelecimentos sejam designados. Por exemplo, suponha que somando o número de alunos dos 15 colégios de uma determinada área, existam 10.234 alunos, que devem ser designados para três viaturas. A capacidade de alunos por viaturas seria o quociente de 10.234 por três, que é a média de 3.411 alunos. Neste caso pode-se ter, conforme foram simuladas nos testes, situações em que cinco colégios mais próximos de uma viatura somam-se 3.500 alunos, logo o último não entraria, ficando, uma viatura “A” com quatro colégios que somariam 3.200 alunos. Uma viatura “B” com seis colégios somando 3.410 alunos, e ainda faltariam cinco colégios, que teríamos como somatório de 3.624 alunos, o que não está dentro da capacidade estabelecida no início.

Para evitar este problema, foi adotado o procedimento que no momento da designação, primeiro aloca-se o colégio à mediana mais próxima, conforme o algoritmo de Gillet e Johnson, e apenas depois verifica se foi ultrapassado ou não a demanda. Caso positivo marca-se a mediana como “já capacitada”. Desta forma, embora não consiga uma distribuição totalmente homogênea, garante-se que todos os colégios serão designados.

Outra modificação importante foi feita logo após ter concluído a etapa de designação e encontradas todas as medianas com o algoritmo heurístico. Foi implementada uma heurística de melhoria de designação, pois segundo Corrêa (2000) podem ocorrer erros no momento da designação dos vértices a mediana mais próxima, por exemplo, se ocorrer empate na hora do cálculo das diferenças (ou da razão) para dois ou mais colégios, estes serão designados apenas de acordo com a ordem em que o computador realizou os cálculos. O fato de se determinar a ordem de designação dos vértices levando-se em conta apenas a distância entre as duas primeiras medianas mais próximas pode gerar erros de designação, principalmente para aqueles vértices que forem designados por último.

Para tentar diminuir estes possíveis erros, foi gerado um algoritmo para análise pós-processamento, que consiste em trocar dois a dois cada vértice de uma mediana e avaliar se ocorre melhoria no número de transmissão com o novo vértice em cada mediana, conforme descrito a seguir.

Início

Para cada mediana i faça:

 Calcule o número de transmissão atual

 Para cada vértice j pertencente à mediana i faça

 Para cada mediana M ($M=i+1$) faça

 Para cada vértice k da mediana M faça

$X = N.^{\circ}$ transmissão da mediana i com a retirada do vértice j e acréscimo do vértice k

$Y = N.^{\circ}$ transmissão da mediana M com a retirada do vértice k e acréscimo do vértice J

 Média = Transmissão (i) + Transmissão (M) - X - Y

 Se média > 0 então troca-se os vértices j pelo k e comece tudo de novo.

Fim

Quadro 3: algoritmo pós-processamento

No caso de estar utilizando como capacidade o total de alunos, então, o algoritmo acima tem uma pequena alteração, pois com as mudanças do novo vértice, tem-se que avaliar se, além de diminuir o número de transmissão, também não vai passar da capacidade permitida para cada uma das duas medianas envolvidas no processo. Para dar maior flexibilidade, quando o critério de capacidade for alunos, é permitido estabelecer um “fator de tolerância” para qual, se a troca for vantajosa, possa ultrapassar no somatório de alunos de cada mediana, porém com o aumento da não proporcionalidade do número de alunos de cada equipe.

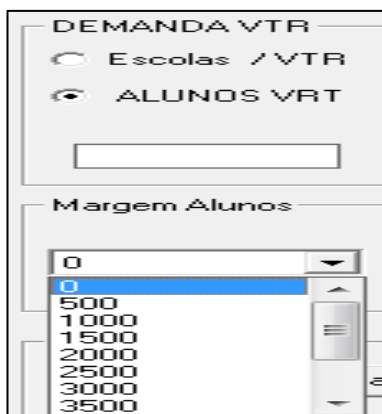


Figura 18: margem de alunos.

Para exemplificar, segue uma segunda simulação com a margem de alunos igual a zero, ilustrada na figura 19:

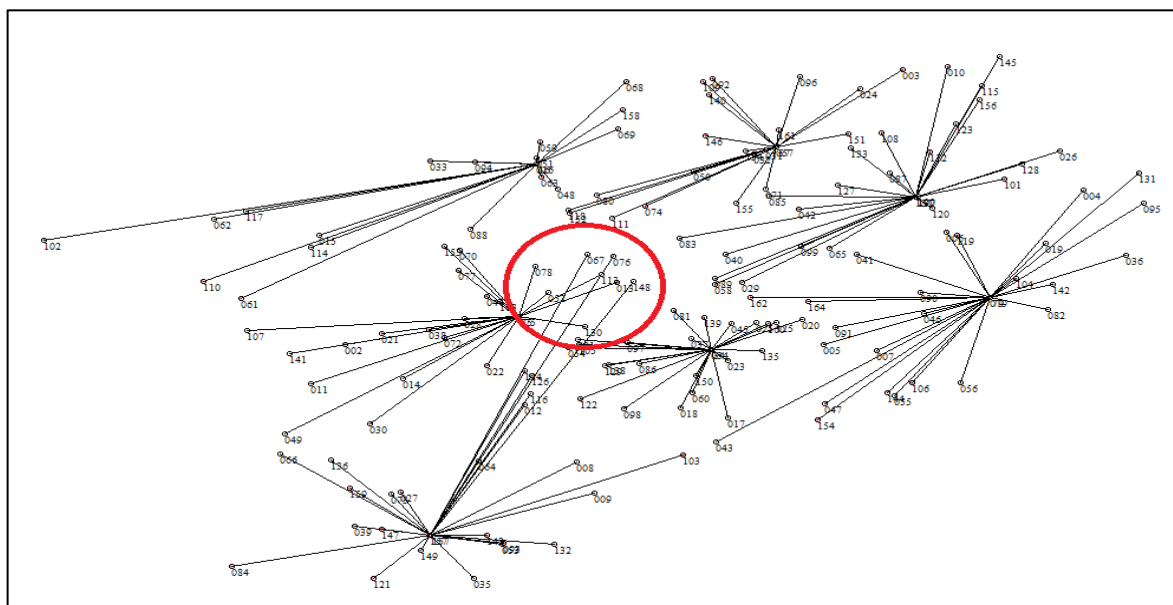


Figura 19: gráfico com a designação por alunos, com margem de zero aluno.

Em seguida, na figura 20, os mesmo dados, porém com uma margem de 500 alunos a mais na capacidade final.

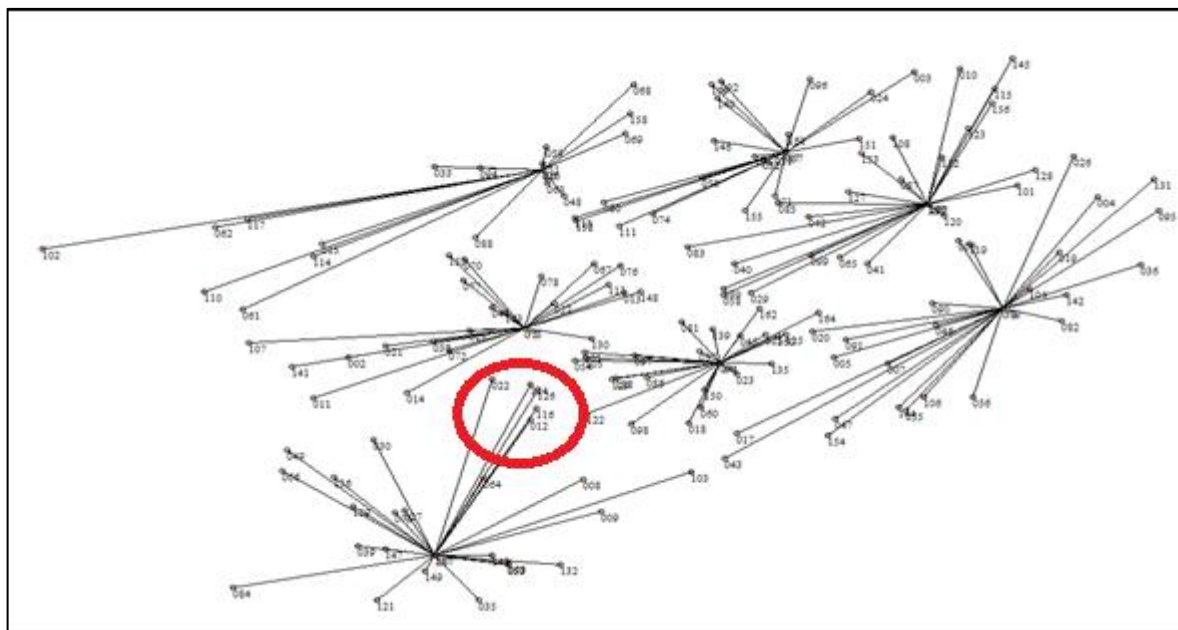


Figura 20: gráfico com a designação por alunos, com margem de 500 alunos.

6.2.2.3 Quantidade de viaturas por turno de serviço

Já no campo “turno”, escolhe-se o número de viaturas disponíveis em cada turno de serviço, seja para o patrulhamento diário nos colégios, ou para distribuir em uma operação especial, por exemplo, a Operação Vizinhança Segura (operação especial realizada no entorno dos colégios, com realização de revista pessoal).

Figura 21: turno de serviço

6.2.2.4 Roteamento da escala atualmente adotada

Como já foi comentado, não foi possível no presente estudo determinar qual é o roteiro usado nas visitas dos colégios, pois atualmente o deslocamento entre os colégios, dentro de um setor, ocorre de forma aleatória, sendo que cada comandante da equipe (mais graduado ou mais antigo) determina, por experiência própria, ou pela “sensação” de aproximação entre os estabelecimentos, qual a sequência que deverá ser feita nas visitas. Sem contar o fato de poder ocorrer um chamado para atendimento de ocorrência em outro colégio que não seja o da atual “rota”, o que determina o cancelamento temporário da visita a este estabelecimento.

Desta forma, para critério de comparação da eficiência dos algoritmos propostos em relação a atual distribuição, foi feito o levantamento de quais colégios cada viatura atende atualmente, de acordo com setor previsto na escala, e na sequência realizado a roteirização com o algoritmo exato de Programação Linear Inteira Binária e o algoritmo do Vizinho mais Próximo com a melhoria 2-opt. (Tabela 8).

Tabela 8

Esquema para comparação dos resultados

Algoritmo	Método	Situação atual	Nova proposta
Heurística	P-medianas	Escala de serviço	Algoritmo de Teitz e Bart Algoritmo de Gillet e Johnson
	Roteamento	Vizinho mais próximo Substituição 2-opt	Vizinho mais próximo Substituição 2-opt
Exatos	P-medianas	Escala de serviço	PPLIB
	Roteamento	PPLIB	PPLIB

Por si só o roteamento da atual distribuição já presume uma economia no percurso em relação a atual forma aleatória, porém não se possa mensurar o quanto é esta melhoria. A figura 22 demonstra o opção de visualização da atual distribuição.

Figura 22: situação atual.

6.3 IMPLANTAÇÃO DO MODELO EXATO

Na fase dos testes, foi utilizado o *software LINGO 12.0 (Linguagem for Interactive Optimizer)* para solucionar os modelos de PLIB. *LINGO* é um software desenvolvido por *LINDO System's Inc.* utilizado para resolver problemas de otimização envolvendo problemas de Programação Linear, Programação Linear Inteira, Programação Linear Inteira Binária, Programação Não-Linear entre outros (SILVA, 2002). Foi desenvolvido para tornar a construção e resolução de modelos de otimização matemática mais fácil e eficiente. O aplicativo *LINGO* fornece um pacote integrado que inclui uma linguagem para expressar modelos de otimização, um ambiente para a construção e edição de problemas, e um conjunto de solver capaz de resolver a maioria das classes de modelos de otimização.

O *LINGO* pode ser acionado por um programa em uma linguagem de programação e resolverá o problema sem ter a necessidade de mostrar a tela de interface.

Foi elaborada uma rotina com base em um módulo que vem junto com o *LINGO 12.0* para ser acrescentado nos projetos em que usam a linguagem do *Microsoft Visual Basic 6.0*, módulo que pode ser encontrado na pasta de instalação do aplicativo dentro sistema operacional:

"<pasta de instalação\LINGO\Programming Samples\Lingd12.bas>"

Em conjunto com este módulo, foi então criada uma rotina que gera os modelos de PLBI e outra rotina que acione o *LINGO*, resolva o modelo e "devolva" as respostas. O quadro 4 descreve a rotina necessária para chamar o programa e passar o módulo para resolução. A grosso modo, quem faz o maior trabalho é a função **LSEXECUTESCRIPTLNG(PLINGO, CSCRIPT)**, que leva ao *LINGO* o script com os dados necessários do modelo, analisa se ocorreu algum erro na formulação, que no caso de ter ocorrido, informa qual o código do erro.

Fica claro que existe a necessidade de ser criado o modelo do problema anteriormente, para depois a variável: **cScript = cScript & "TAKE <local do modelo\nome arquivo > & Chr(10)"** encaminhar o modelo ao *LINGO*. Isso pode ser feito no *Visual Basic* através de um arquivo que deverá ser salvo com a extensão ".lng", contendo os dados na linguagem padrão que o *LINGO* interpreta, conforme é descrito no quadro 5, para o problema das *p*-medianas, onde as variáveis *LT_Pontos*, *LT_Medianas* e *LT_CAPACIDADE* representam, respectivamente, o

número de vértices, medianas e a capacidade de cada mediana, extraído diretamente da interface do “DesignaPEC”.

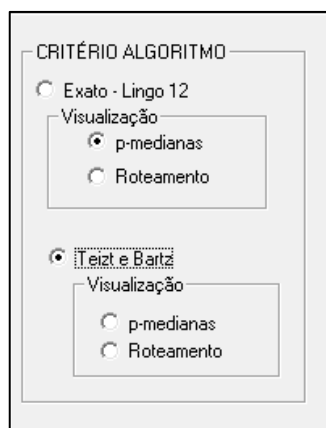


Figura 23: critério de algoritmo no “DesignaPEC”.

Após o *LINGO* resolver o modelo, imprimir as respostas no local indicado em `@TEXT('local impresso resultado\nome do arquivo & ".txt')=G;` a função `nError = LSexecuteScriptLng(pLINGO, cScript)` recebe `nError = 0`, retornando o controle ao *DesignaPEC*, que irá realizar a leitura dos arquivos de respostas e dar continuidade nos procedimentos, como por exemplo, no caso de determinar as *p*-medianas, ele novamente irá preparar os dados, gerando um novo modelo, mas agora de roteirização para cada mediana, gerar os novos arquivos de dados, para em seguida novamente chamar o *LINGO* para realizar a roteirização, por viatura, imprimir na tela do computador o resultado final, bem como gerar o arquivo final com as novas distribuições dos colégios para cada viatura.

```

Sub InterfaseLINGO()

    Dim nError As Long
    Dim cScript As String
    Dim pLINGO As Long
    pLINGO = LScreateEnvLng()

    nError = LSopenLogFileLng(pLINGO, "LINGO.log")
    if <> 0 Then GoTo ErrorExit

    cScript = "SET ECHOIN 1" & Chr(10)
    cScript = cScript & "TAKE <local do modelo\nome arquivo > & Chr(10)
    cScript = cScript & "LOOK ALL" & Chr(10)
    cScript = cScript & "GO" & Chr(10)
    cScript = cScript & "QUIT" & Chr(10)
    cScript = cScript & Chr(0)

    nError = LSexecuteScriptLng(pLINGO, cScript)
    LScloseLogFileLng (pLINGO)

    If nError <> 0 Then
        MsgBox ("Unable to solve!")
        GoTo ErrorExit
    End If

    LSdeleteEnvLng (pLINGO)
    GoTo FinalExit:

    ErrorExit:
        MsgBox ("LINGO Error Code: " & nError)
        LSdeleteEnvLng (pLINGO)
    FinalExit:

End Sub

```

Quadro 4: rotina para comunicação *Visual Basic* com o *LINGO*.

```

Sub GeraModelo_Lng()

    Dim i As Integer
    Dim LNG As String

    Close #1
    LNG = "<local do modelo\nome do modelo" & ".lng"
    Open LNG For Output As #1

    Print #1, "SETS:"
        Print #1, "v1 /1.." & LT_Pontos & "/;"
        Print #1, "rota1(v1,v1): DEE;"
        Print #1, "rota2(v1,v1): Y;"
    Print #1, "ENDSETS"
    Print #1, "DATA:"
        Print #1, "DEE = @FILE('<local dados\ nome arquivo dados & ".TXT');"
    Print #1, "ENDDATA"
    Print #1, "G=@sum(rota1(i,j): Y(i,j)*DEE(i,j));"
    Print #1, "min =G;"
    Print #1, "@SUM(rota1(i,j)| (j#eq#i):Y(i,j)) = " & LT_Mediana & ";"
    Print #1, "@for(v1(i): @sum(rota1(i,j): AL(j)*Y(i,j))<=" & LT_CAPACIDADE & ");"
    Print #1, "@for(v1(j): @sum(rota1(i,j): Y(i,j))=1);"
    Print #1, "@for(v1(i):@for(v1(j): Y(i,j)<=Y(i,i)));"
    Print #1, "@for(rota1(i,j): @bin(Y(i,j)));"
    Print #1, "DATA:"
    Print #1, "@TEXT('<local impresso resultado\nome do arquivo & ".txt')=G;"
    Print #1, "@TEXT('<local impresso resultado\nome do arquivo & ".txt ')=y;"
        Print #1, "ENDDATA"
    Print #1, "End"

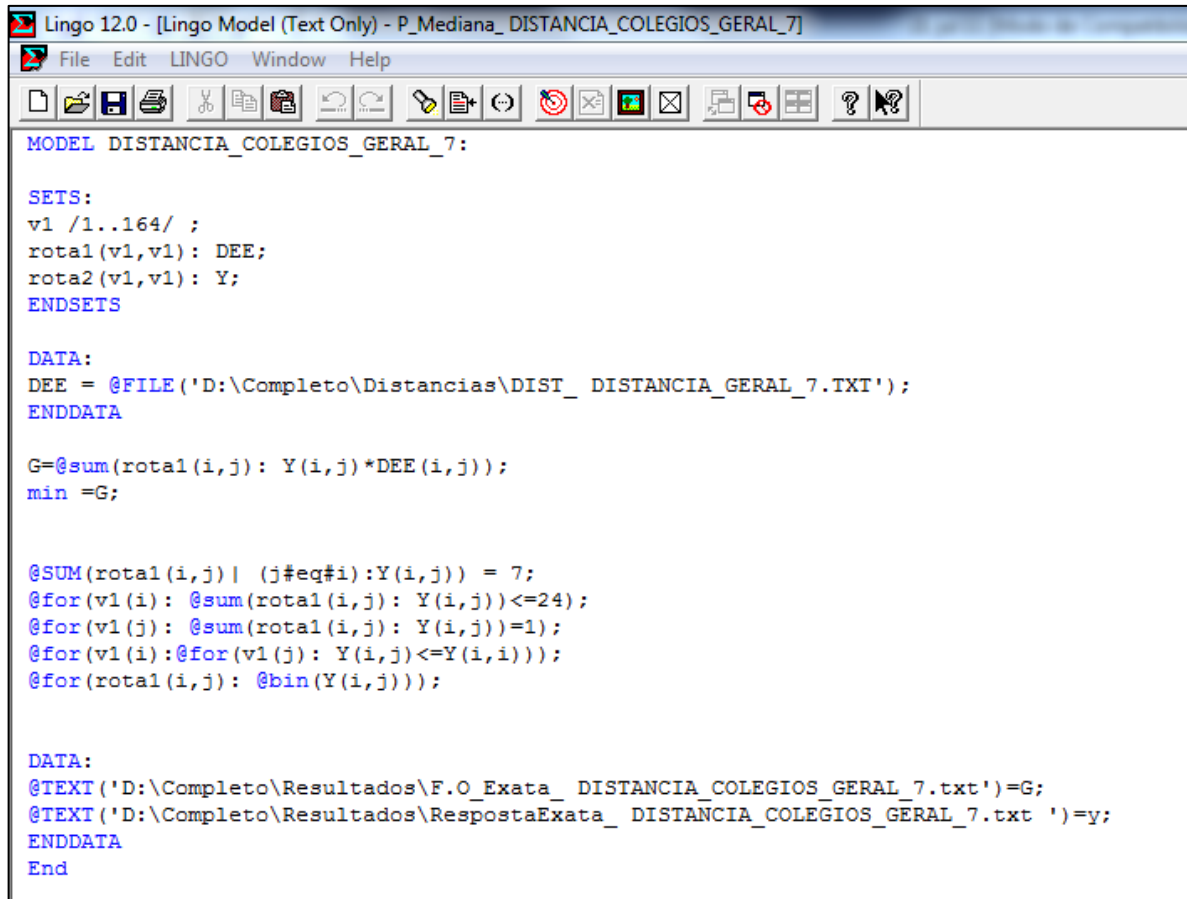
    Close #1

End Sub

```

Quadro 5: modelo para o problema das p -medianas.

Para o problema de distribuir as viaturas do BPEC, foram gerados automaticamente noventa modelos para o *LINGO* resolver, entre o problema das p -medianas e o de roteamento de veículos. A seguir são apresentados dois modelos:



```

Lingo 12.0 - [Lingo Model (Text Only) - P_Mediana_DISTANCIA_COLEGIOS_GERAL_7]
File Edit LINGO Window Help
MODEL DISTANCIA_COLEGIOS_GERAL_7:

SETS:
v1 /1..164/ ;
rotal(v1,v1): DEE;
rota2(v1,v1): Y;
ENDSETS

DATA:
DEE = @FILE('D:\Completo\Distancias\DIST_DISTANCIA_GERAL_7.TXT');
ENDDATA

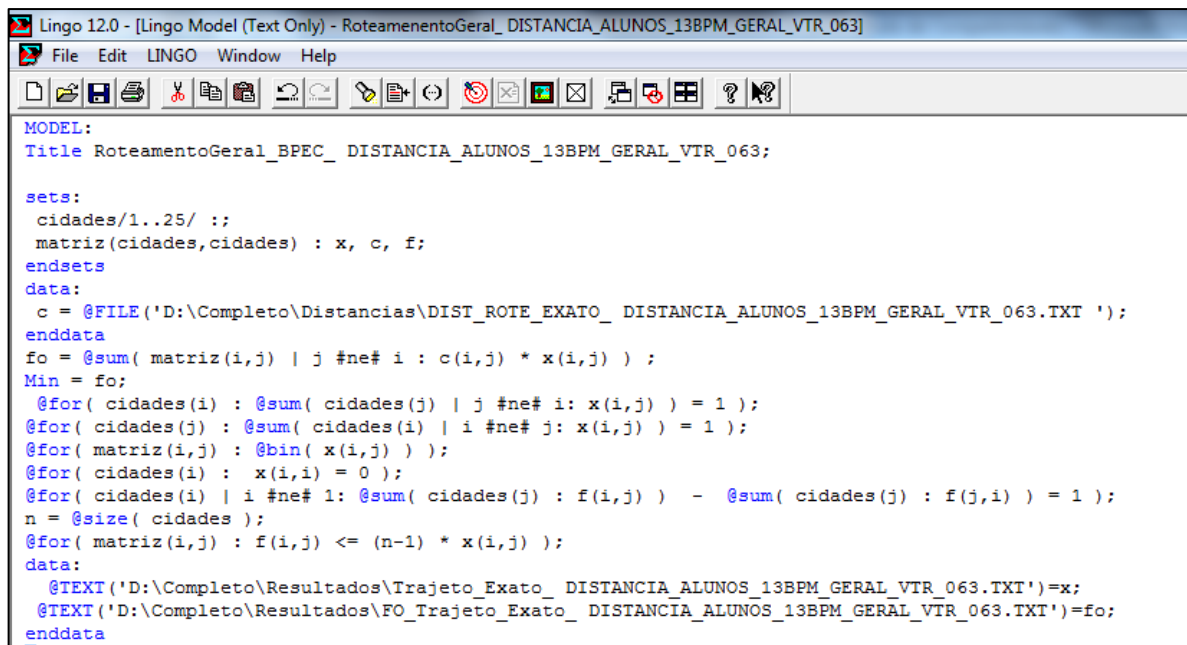
G=@sum(rotal(i,j): Y(i,j)*DEE(i,j));
min =G;

@SUM(rotal(i,j) | (j#eq#i):Y(i,j)) = 7;
@for(v1(i): @sum(rotal(i,j): Y(i,j))<=24);
@for(v1(j): @sum(rotal(i,j): Y(i,j))=1);
@for(v1(i):@for(v1(j): Y(i,j)<=Y(i,i)));
@for(rotal(i,j): @bin(Y(i,j)));

DATA:
@TEXT('D:\Completo\Resultados\F.O_Exata_DISTANCIA_COLEGIOS_GERAL_7.txt')=G;
@TEXT('D:\Completo\Resultados\RespostaExata_DISTANCIA_COLEGIOS_GERAL_7.txt ')=y;
ENDDATA
End

```

Figura 24: modelo no *LINGO*, problema das *p*-medianas.



```

Lingo 12.0 - [Lingo Model (Text Only) - RoteamentoGeral_DISTANCIA_ALUNOS_13BPM_GERAL_VTR_063]
File Edit LINGO Window Help
MODEL:
Title RoteamentoGeral_BPEC_DISTANCIA_ALUNOS_13BPM_GERAL_VTR_063;

sets:
  cidades/1..25/ ;;
  matriz(cidades,cidades) : x, c, f;
endsets
data:
  c = @FILE('D:\Completo\Distancias\DIST_ROTE_EXATO_DISTANCIA_ALUNOS_13BPM_GERAL_VTR_063.TXT ');
enddata
fo = @sum( matriz(i,j) | j #ne# i : c(i,j) * x(i,j) );
Min = fo;
@for( cidades(i) : @sum( cidades(j) | j #ne# i: x(i,j) ) = 1 );
@for( cidades(j) : @sum( cidades(i) | i #ne# j: x(i,j) ) = 1 );
@for( matriz(i,j) : @bin( x(i,j) ) );
@for( cidades(i) : x(i,i) = 0 );
@for( cidades(i) | i #ne# 1: @sum( cidades(j) : f(i,j) ) - @sum( cidades(j) : f(j,i) ) = 1 );
n = @size( cidades );
@for( matriz(i,j) : f(i,j) <= (n-1) * x(i,j) );
data:
  @TEXT('D:\Completo\Resultados\Trajeto_Exato_DISTANCIA_ALUNOS_13BPM_GERAL_VTR_063.TXT')=x;
  @TEXT('D:\Completo\Resultados\FO_Trajeto_Exato_DISTANCIA_ALUNOS_13BPM_GERAL_VTR_063.TXT')=fo;
enddata

```

Figura 25: modelo no *LINGO*, problema de roteamento de veículos.

CAPÍTULO VII

7 TESTES COMPUTACIONAIS E RESULTADOS

Nesta seção apresenta-se os resultados obtidos para cada tipo agrupamento, além dos resultados da roteirização atual com os algoritmos exato e heurístico. Os resultados para alguns modelos exatos solucionados no aplicativo *LINGO* versão 12.0 foram obtidos com a interrupção do aplicativo após ficar mais de oito horas em execução e não apresentar o ótimo global. Nestes casos foram apresentados como soluções exatas os resultados parciais achados até o momento do cancelamento.

Também, para cada situação, foram simulados separadamente os dois turnos, visto que na data da escala havia uma diferença no número de equipes de serviço disponíveis, sendo que no primeiro turno, 07h00min às 15h00min existiam sete viaturas e no segundo turno, das 15h00min. às 23h00min. eram seis viaturas. Para o processamento dos modelos, utilizou-se um processador Intel® de 1,9 MHz com 2 gigabytes de RAM, e as distâncias apresentadas estão em quilômetros.

7.1 RESULTADOS COMPUTACIONAIS PARA A SITUAÇÃO ATUAL

A seguir são apresentados os resultados da situação atual com os algoritmos de roteirização exatos e heurísticos, que como já foi comentado, por si só já representaria uma melhora no deslocamento em comparação com a forma aleatória realizada.

7.1.1 Resultado da situação atual com algoritmo exato

As colunas que estão sinalizadas com um asterisco, são os modelos que após oito horas de funcionamento, não chegaram ao ótimo global, sendo então indicados os valores parciais. O total percorrido nos dois turnos é de 457,37 quilômetros para o modelo exato.

Tabela 9

Resultado atual dos colégios algoritmo exato - 1º turno

1º turno: 07h00min. às 15h00min.						
1º pelotão				2º pelotão		
12º BPM		20º BPM		20º BPM	13º BPM	
M8442	M8433	M8426	M8428	M8432	*M7043*	M8435
23,36	29,40	28,13	32,01	27,26	51,48	45,04
52,76 km		60,14 km		27,26 km	96,52 km	
112,91 km				123,79 km		
Total 236,70 km						

* mais de oito horas rodando sem apresentar o ótimo global.

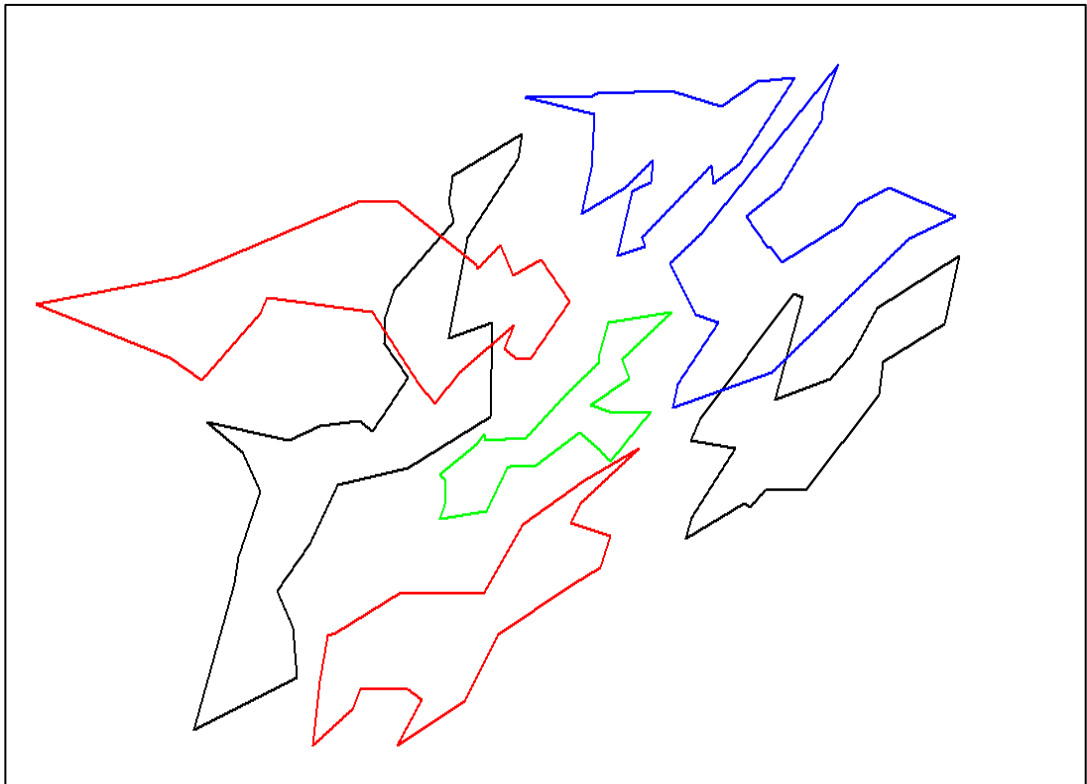


Figura 26: roteamento da atual situação no 1º turno, algoritmo exato.

Tabela 10
Resultado atual dos colégios algoritmo exato - 2º turno

2º turno: 15h00min. às 23h00min.					
1º pelotão		2º pelotão			
12º BPM		13º BPM		20ª BBPM	
T8442	T8431	T8435	T8432	T8427	*T8428 *
23,36	29,40	39,56	49,79	32,51	46,02
52,76 km		89,36 km		78,53 km	
52,76 km		167,90 km			
Total 220,67 km					

* mais de oito horas rodando sem apresentar o ótimo global.

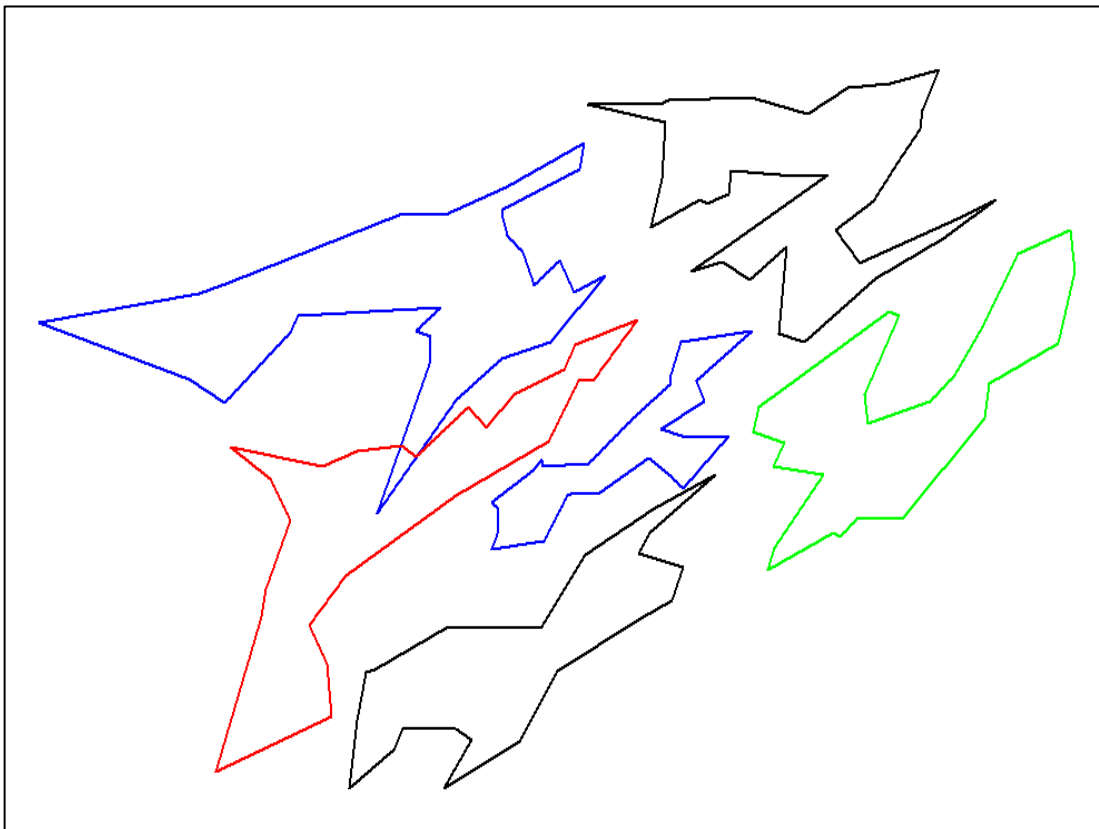


Figura 27: roteamento da atual situação no 2º turno, algoritmo exato.

7.1.2 Resultado da situação atual com algoritmo heurístico

Através da heurística do vizinho mais próximo, com a melhoria de solução 2-*opt*, o somatório total de deslocamento das viaturas nos dois turnos de serviço foi de 490,31 quilômetros. Em comparação com o algoritmo exato, ficam apenas 6,71% do ideal.

Tabela 11

Resultado atual dos colégios algoritmo heurístico - 1º turno

1º turno: 07h00min. às 15h00min.						
1º pelotão				1º pelotão		
12º BPM		20º BPM		20º BPM	13º BPM	
M8442	M8433	M8426	M8428	M8432	M7043	M8435
25,24	30,98	32,32	32,10	28,76	57,56	45,77
56,22		64,42		28,76	103,33	
120,65 km				132,10 km		
Total 252,75 km						

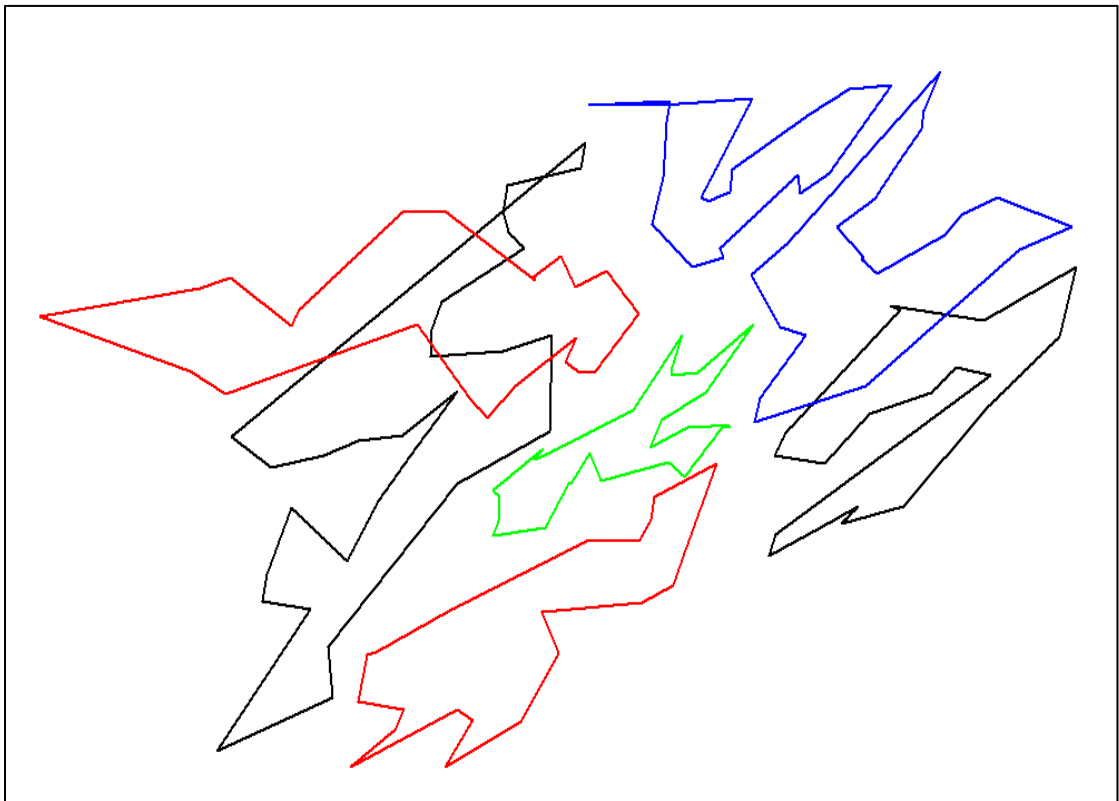


Figura 28: roteamento da atual situação no 1º turno, algoritmo heurístico.

Tabela 12
Resultado atual dos colégios algoritmo heurístico - 2º turno

2º turno: 15h00min. às 23h00min.					
1º pelotão		2º pelotão			
12º BPM		13º BPM		20º BPM	
T8442	T8431	T8435	T8432	T8427	T8428
25,2425	30,98	39,62	58,58	34,91	48,20
56,22 km		98,21 km		83,11 km	
56,22 km		181,33 km			
Total 237,55 km					

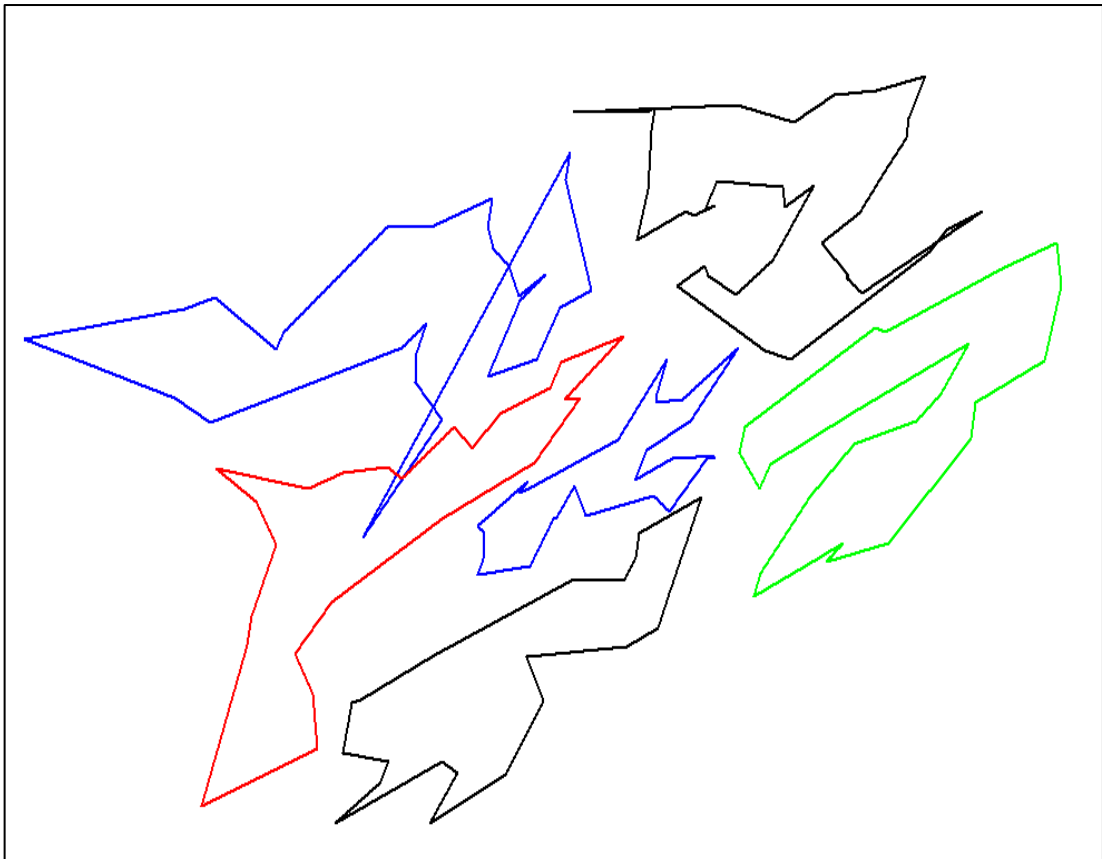


Figura 29: roteamento da atual situação no 2º turno, algoritmo heurístico.

7.2 RESULTADOS: DESIGNAÇÃO NÚMERO DE COLÉGIOS POR VIATURA

7.2.1 Designação exata por número de colégios/viatura – Agrupamento Geral BPEC

No agrupamento Geral BPEC, onde não é levado em consideração nenhuma divisão de pelotões ou UOA (12º BPM, 13ºBPM, e 20º BPM), considerando todos os 164 colégios estaduais:

Tabela 13
Resultado algoritmo exato, colégios/viatura, Geral BPEC, 1º turno

1º turno: 07h00min. às 15h00min.							
Tempo p -medianas *	10h03min33seg**						
Prefixo	M016	M151	M157	M105	M044	M079	M025
Tempo roteirização	00:01:40	00:02:58	00:00:56	00:01:20	00:00:27	00:02:31	00:14:25
Total km	42,76	25,71	31,73	26,30	32,97	33,38	25,01
	126,51 km				91,38 km		
	217,89 km						

* tempo gasto computacionalmente em horas/minutos/segundos.

** mais de oito horas rodando sem apresentar o ótimo global.

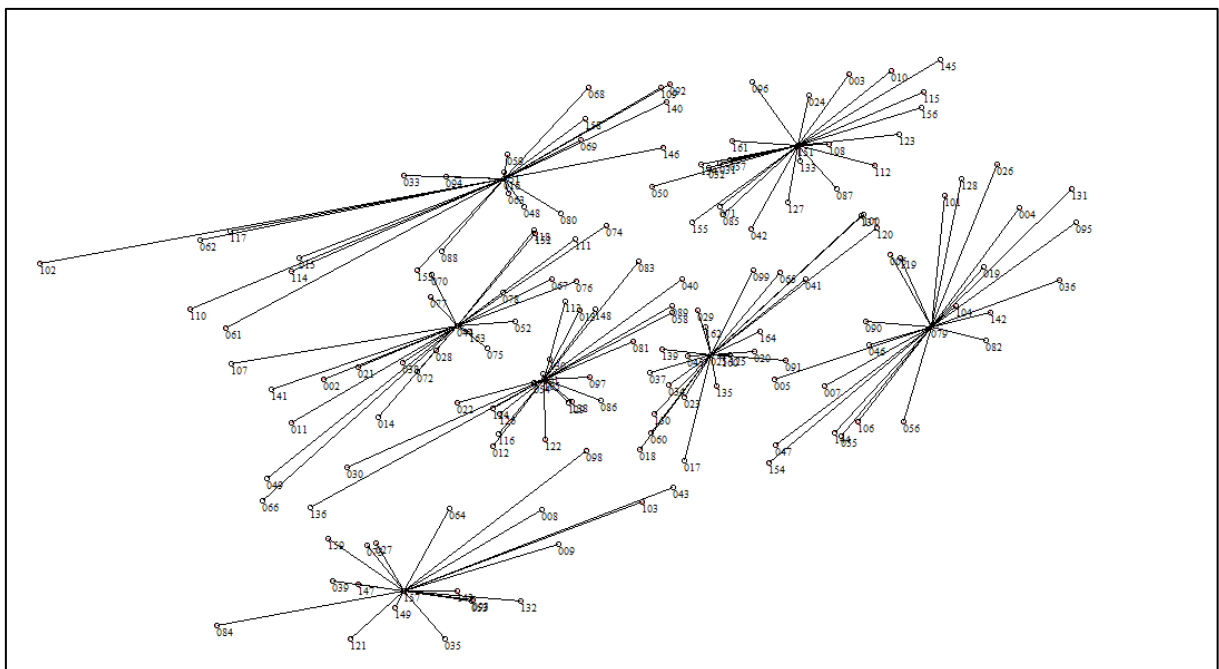


Figura 30: resultado algoritmo exato, colégios/viatura, Geral BPEC, 1º turno.

Tabela 14
 Resultado algoritmo exato, colégios/viaturas, Geral BPEC, 2º turno

2º turno: 15h00min. às 23h00min.						
Tempo p -medianas *	10h03min33seg **					
Prefixo	T027	T045	T046	T075	T133	T016**
Tempo roteirização*	00:02:41	00:03:28	00:03:04	00:02:54	00:06:08	08:00:00
Total km	37,10	26,99	38,59	30,96	31,64	46,15
	102,69 km				108,77 km	
	211,46 km					

* tempo gasto computacionalmente em horas/minutos/segundos.

** mais de oito horas rodando sem apresentar o ótimo global.

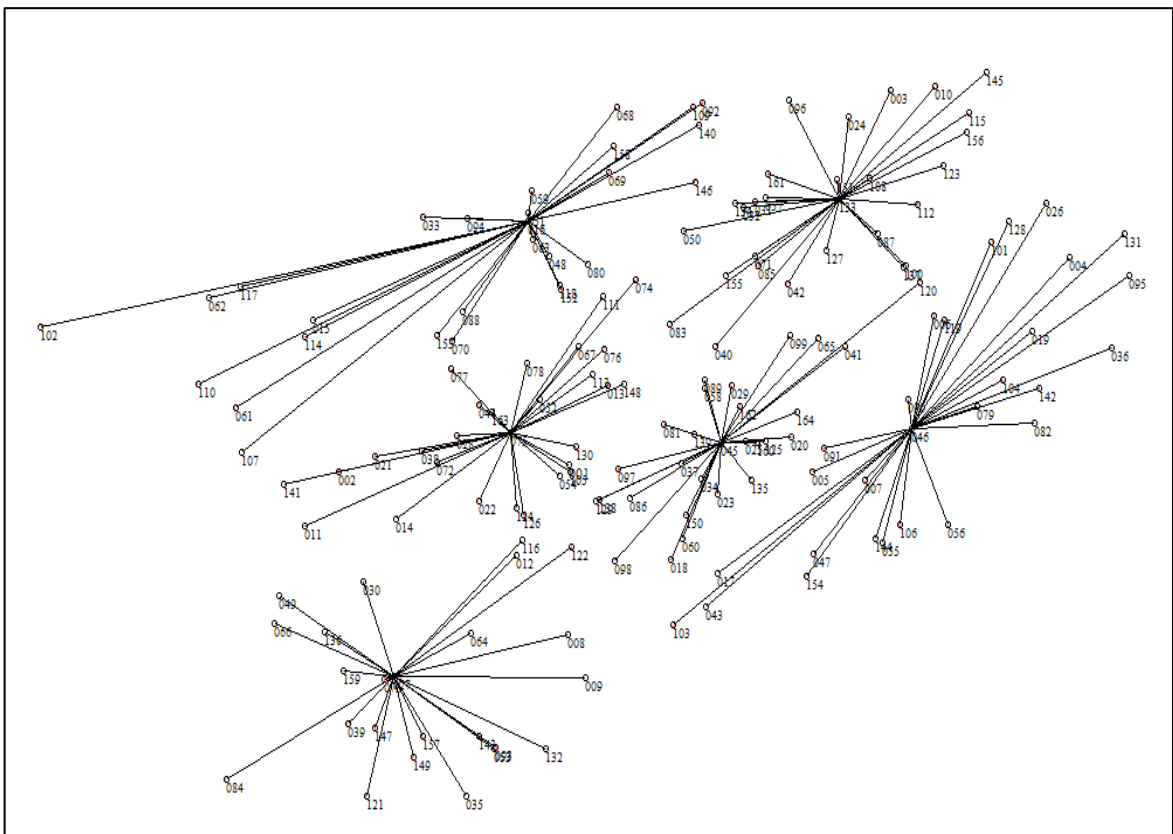


Figura 31: resultado algoritmo exato, colégios/viatura, Geral BPEC, 2º turno.

7.2.2 Designação heurística por número de colégios/viatura – Agrupamento Geral BPEC

Tabela 15

Resultado algoritmo heurístico, colégios/viaturas, Geral BPEC - 1º turno

1º turno: 07h00min. às 15h00min.							
Prefixo	M01	M02	M03	M04	M05	M06	M07
Km	27,77	37,00	29,11	43,17	26,51	24,37	41,91
Total km	229,88 km						

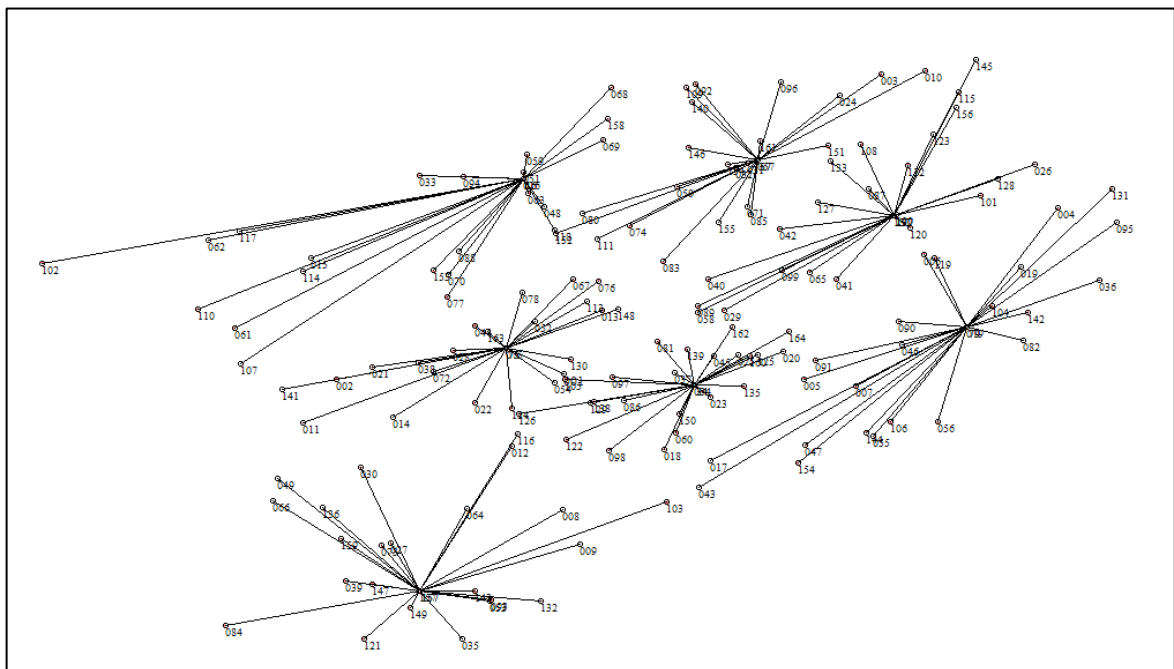


Figura 32: resultado heurístico, colégios/viaturas, Geral BPEC, 1º turno.

Tabela 16

Resultado algoritmo heurístico, colégios/viaturas, Geral BPEC - 2º turno

2º turno: 15h00min. às 23h00min.						
Prefixo	T01	T02	T03	T04	T05	T06
Km	38,87	44,74	33,73	38,88	42,99	25,30
Total km	224,44 km					

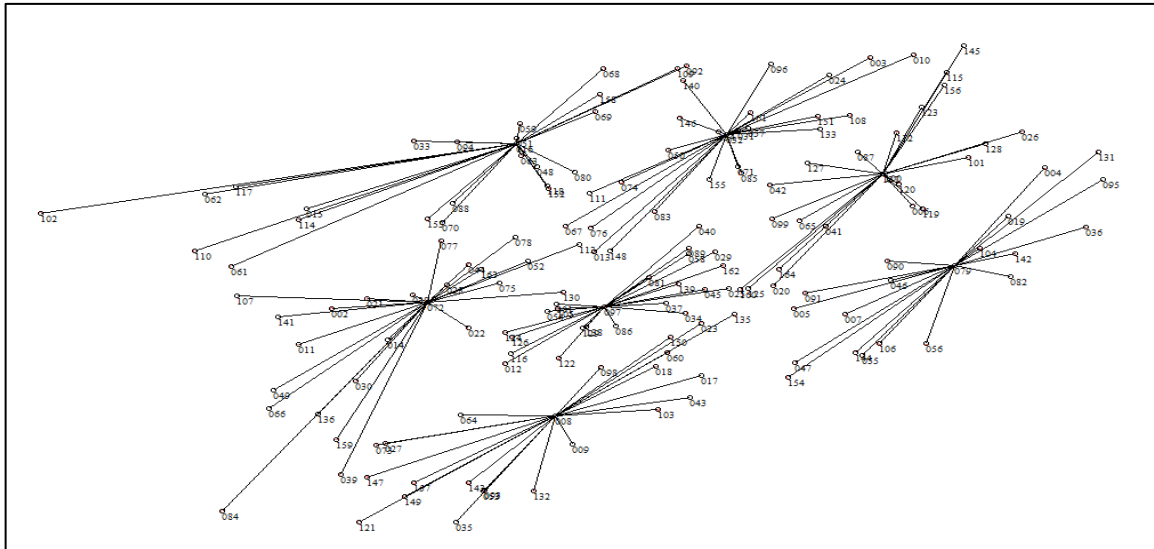


Figura 34: resultado exato, colégios/viaturas, Pelotão BPEC, 1º turno.

Tabela 18

Resultado exato, número de colégios/viatura, Pelotão BPEC - 2º turno

2º turno: 15h00min. às 23h00min.						
Agrupamento	1º Pelotão		2º Pelotão			
Tempo p-medianas	00:05:30		00:01:27			
Prefixo	T008	T139	T046	T072	T133	T063
Tempo roteirização	00:00:54	00:01:38	00:02:33	00:06:09	00:29:24	07:39:05
Total km	30,95	21,78	37,22	44,29	33,39	46,52
	21,79 km			124,21 km		
	146,00 km					

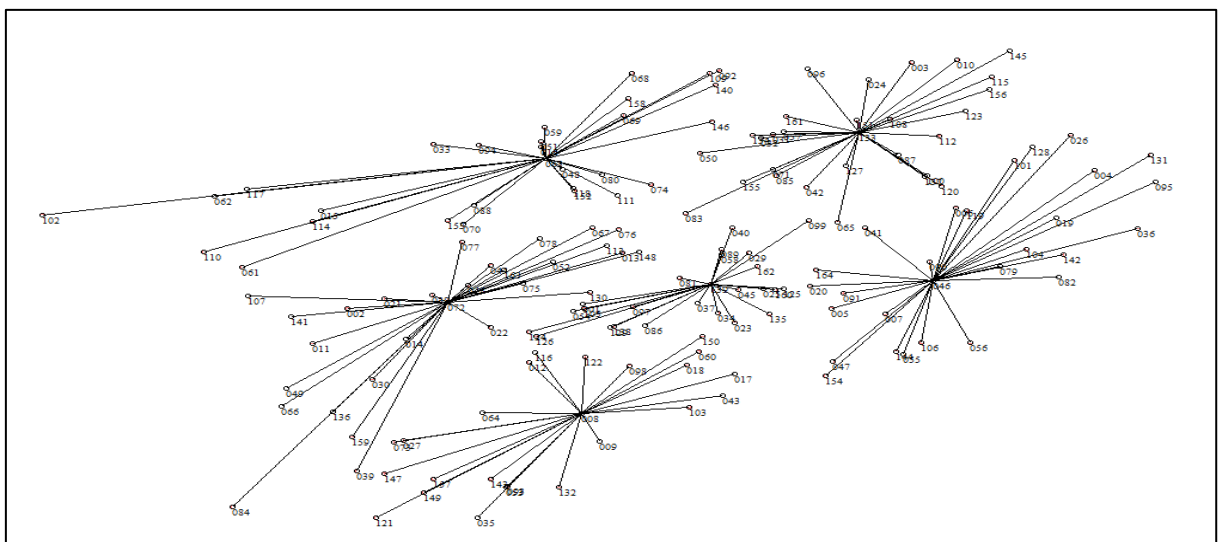


Figura 35: resultado exato, colégios/viaturas, Pelotão BPEC, 2º turno.

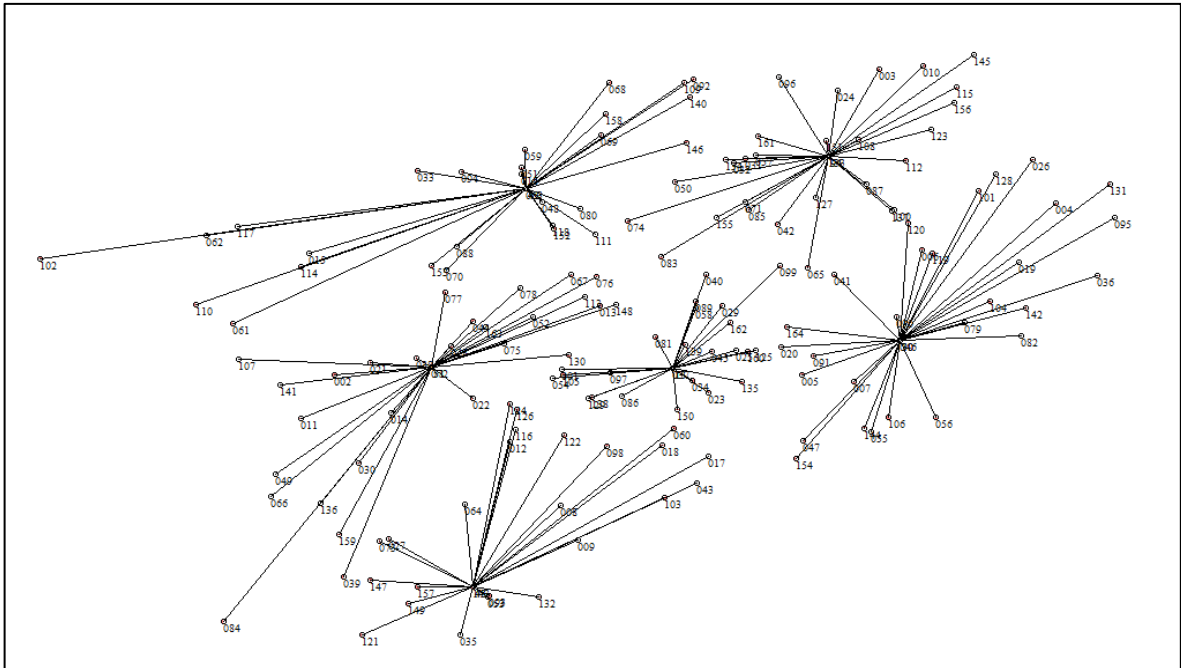


Figura 37: resultado heurístico, colégios/viaturas, Pelotão BPEC, 2º turno.

7.2.5 Designação exata por número de colégios/viatura – Agrupamento UOA.

Tabela 21

Resultado exato, número de colégios/viatura, UOA - 1º turno

1º turno: 07h00min. às 15h00min.							
Agrupamento	12º BPM		13º BPM		20º BPM		
Tempo p-medianas	00:05:37		00:00:40		00:32:00		
Prefixo	M008	M139	M75	M088	M079	M100	M161
Tempo roteirização	00:00:45	00:35:00	00:01:18	01:12:40	00:00:07	00:00:53	00:00:47
Total km	30,95	21,78	39,47	43,01	26,82	27,74	27,66
	40,81 km		52,73 km		82,48 km		
	217,43 km						

* tempo gasto computacionalmente em horas/minutos/segundos.

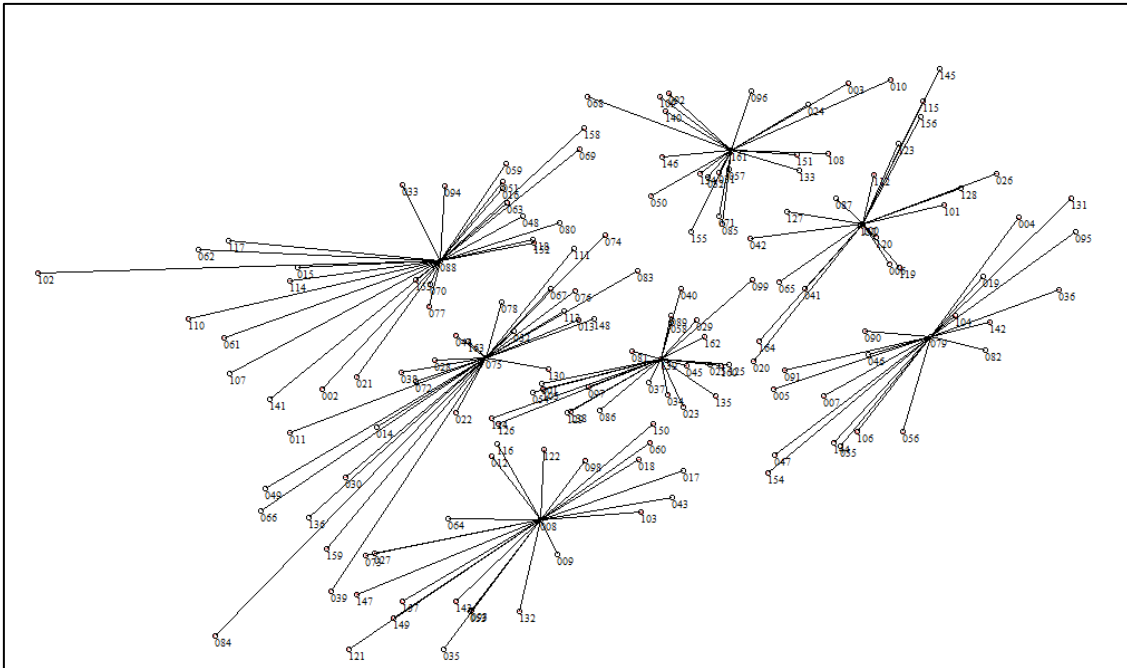


Figura 38: resultado exato, colégios/viaturas, UOA, 1º turno.

Tabela 22

Resultado exato, número de colégios/viatura, UOA - 2º turno

2º turno: 15h00min. às 23h00min.						
Agrupamento	12º BPM		13º BPM		20º BBPM	
Tempo p-medianas	00:05:37		00:00:40		00:00:41	
Prefixo	T008	T139	T75	T088	T090	T51
Tempo roteirização	00:00:45	00:35:00	00:01:18	01:12:40	00:04:47	04:05:00
km	30,95	21,78	39,47	43,01	39,90	36,82
	52,73 km		82,48 km		36,82 km	
	211,93 km					

* tempo gasto computacionalmente em horas/minutos/segundos.

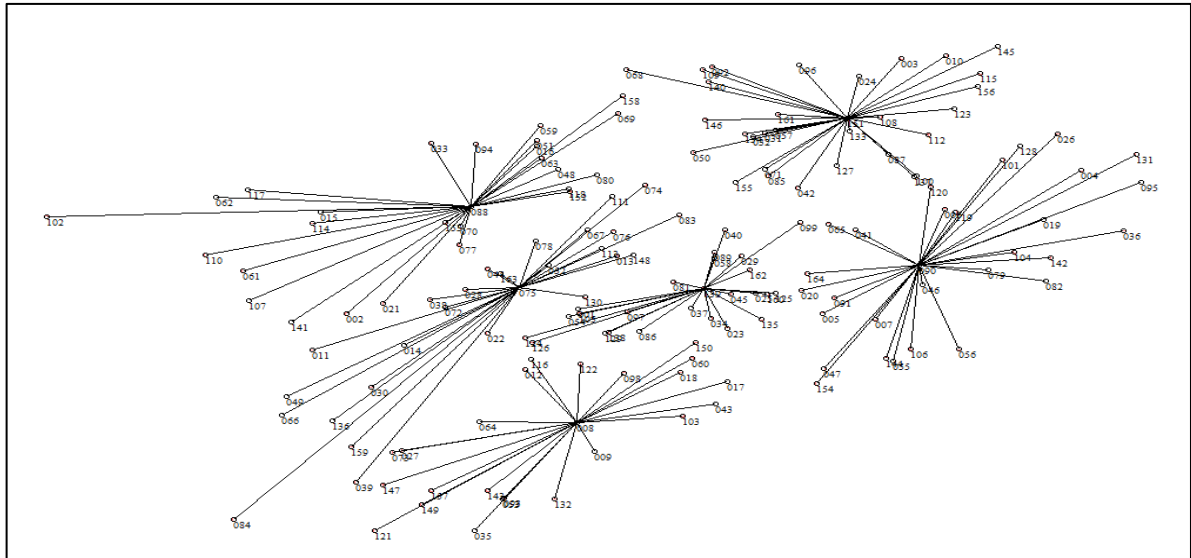


Figura 39: resultado exato, colégios/viaturas, UOA, 2º turno.

7.2.6 Designação heurística por número colégios/viatura – Agrupamento UOA

Tabela 23: Resultado heurístico, número de colégios/viatura, UOA - 1º turno

1º turno: 07h00min. às 15h00min.							
Agrupamento	12º BPM		13º BPM		20º BPM		
Prefixo	M01	M02	M04	M05	M05	M06	M07
	21,78	33,04	44,36	44,50	27,31	29,50	29,83
Total km	54,82 km		88,86 km		86,64 km		
	230,32 km						

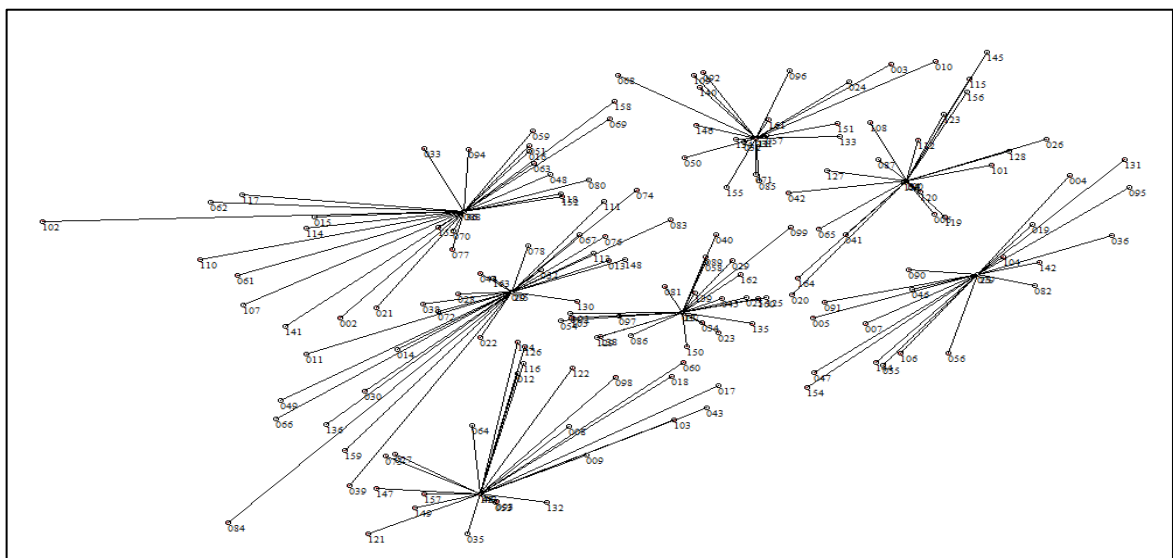


Figura 40: resultado heurístico, colégios/viaturas, UOA, 1º turno.

Tabela 24

Resultado heurístico, número de colégios/viatura, UOA - 2º turno

2º turno: 15h00min. às 23h00min.						
Agrupamento	12º BPM		13º BPM		20ª BBPM	
Prefixo	T01	T02	T04	T05	T05	T06
	21,78	33,04	44,36	44,50	39,74	42,34
Total km	54,82 km		88,86 km		82,08 km	
	225,76 km					

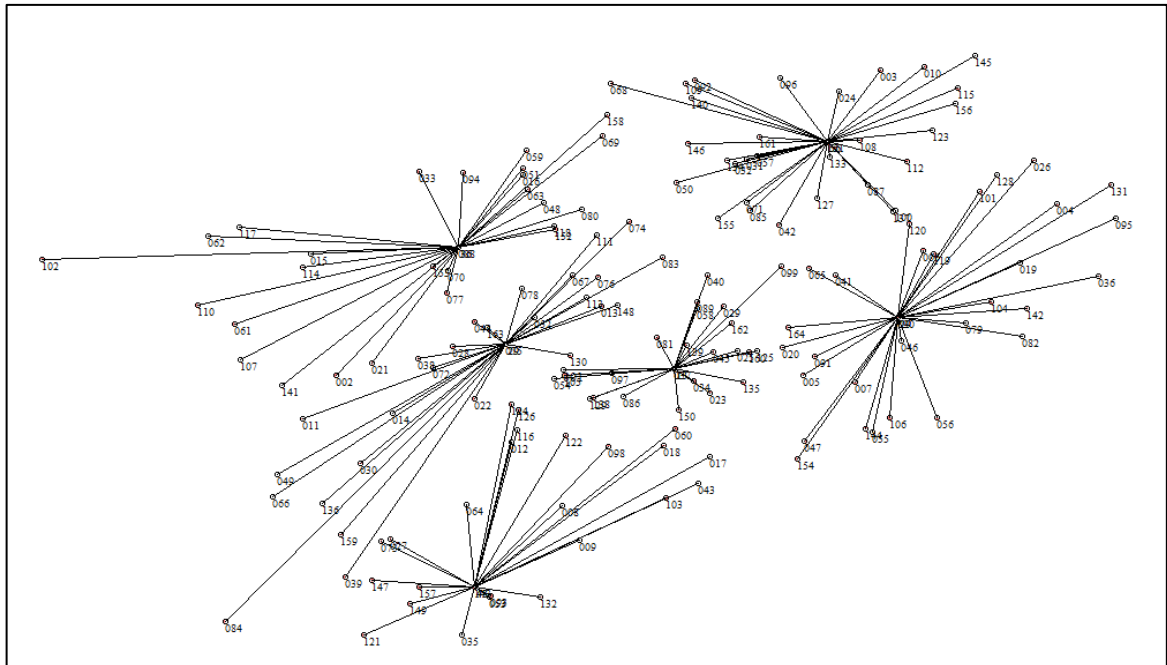


Figura 41: resultado heurístico, colégios/viaturas, UOA, 2º turno.

7.3 RESULTADOS: DESIGNAÇÃO NÚMERO DE ALUNOS POR VIATURA

7.3.1 Designação exata por número de alunos/viatura – Agrupamento Geral BPEC

Tabela 25

Resultado exato, número de alunos/viatura, Geral BPEC - 1º turno

1º turno: 07h00min. às 15h00min.							
Tempo <i>p</i> -medianas *	08:05:00**						
Prefixo	M007**	M028	M087	M094	M097	M146	M157
Tempo roteirização*	08:00:00	00:00:34	00:00:21	00:00:56	00:00:23	00:00:45	00:00:55
Alunos	27257	27013	27811	27960	27787	27970	27238
Desvio padrão	365,55 alunos						
Km	31,90	28,40	29,11	38,21	26,54	26,02	36,65
Total km	216,83 km						

* tempo gasto computacionalmente em horas/minutos/segundos.

** mais de oito horas rodando sem apresentar o ótimo global.

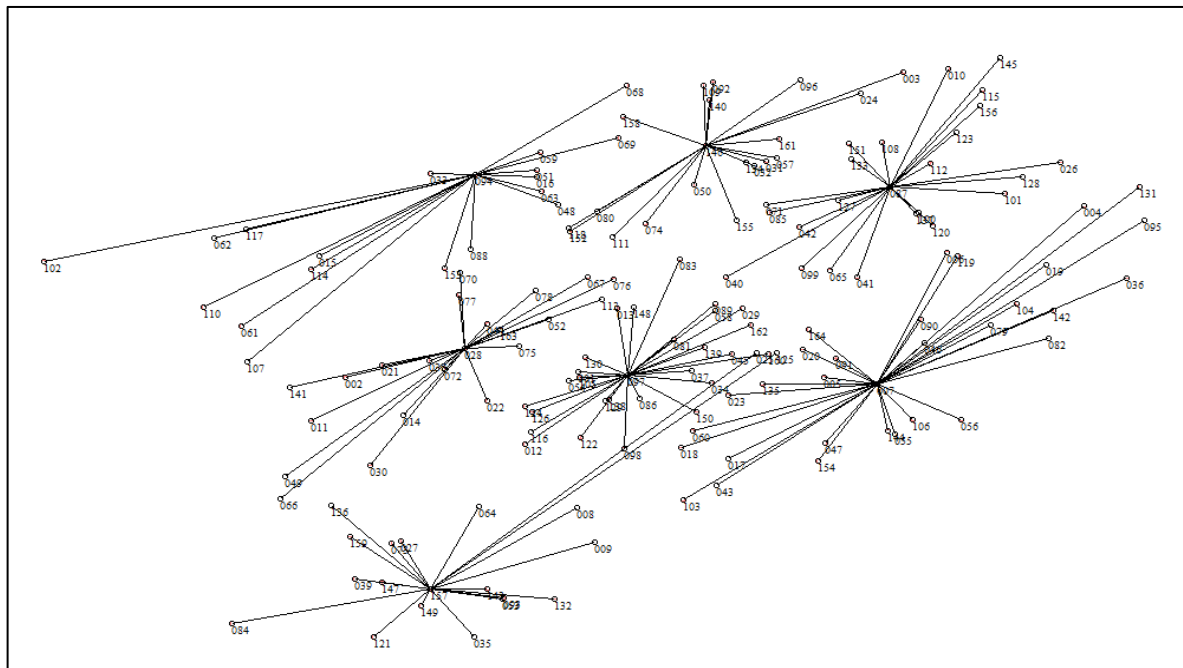


Figura 42: resultado algoritmo exato, alunos/viatura, Geral BPEC, 1º turno.

Tabela 26

Resultado exato, número de alunos/viatura, Geral BPEC - 2º turno

2º turno: 15h00min. às 23h00min.						
Tempo p -medianas *	08:05:00**					
Prefixo	T046	T051	T133	T157	T163	T037**
Tempo roteirização*	00:00:28	00:00:49	00:00:34	00:01:23	00:00:58	08:00:00
Alunos	32632	32640	32606	30055	32548	32555
Desvio padrão	947,69 alunos					
Km	40,49	42,72	30,20	49,04	34,33	31,9
Total km	228,68 km					

* tempo gasto computacionalmente em horas/minutos/segundos.

** mais de oito horas rodando sem apresentar o ótimo global.

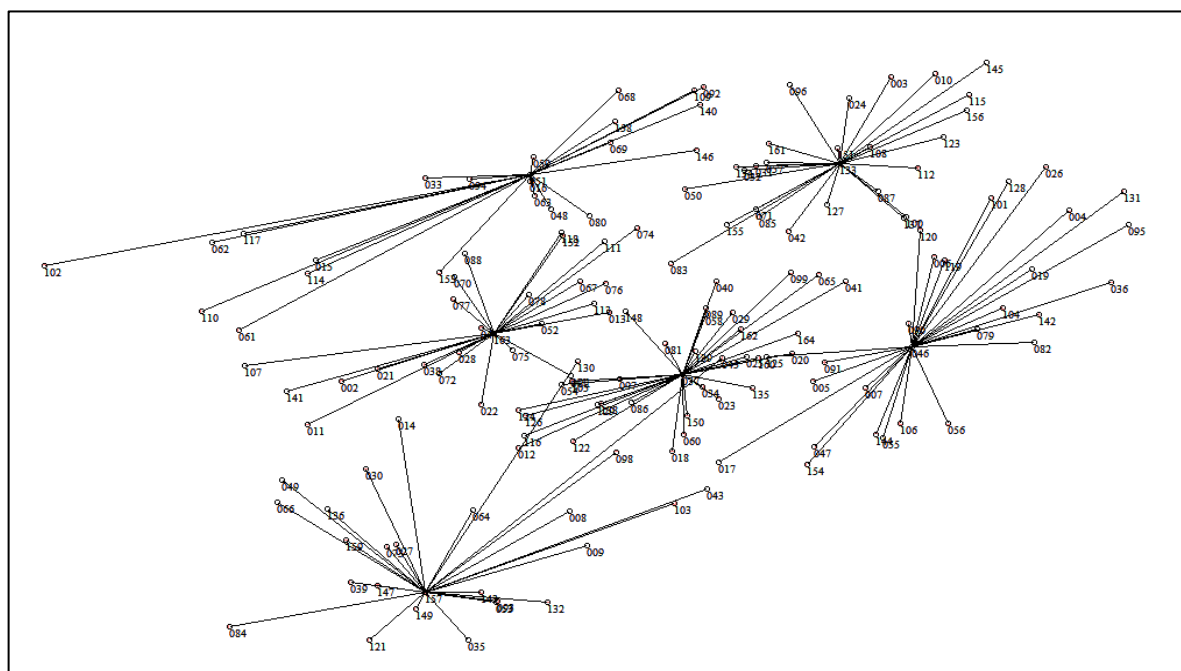


Figura 43: resultado algoritmo exato, alunos/viatura, Geral BPEC, 2º turno.

7.3.2 Designação heurística por número de alunos/viatura – Agrupamento Geral BPEC

Para o primeiro turno, com a margem zero, ocorreu um total percorrido de 244,33 km, com um desvio padrão de 1.817 alunos, porém como o tempo computacional gasto para fazer simulações no algoritmo heurístico é baixo, permitiu o aumento da margem e novas simulações, evitando ao máximo de uma viatura

entrar na área de atuação de outro setor, conforme ocorreu com a margem zero, apresentado na figura 44 abaixo:

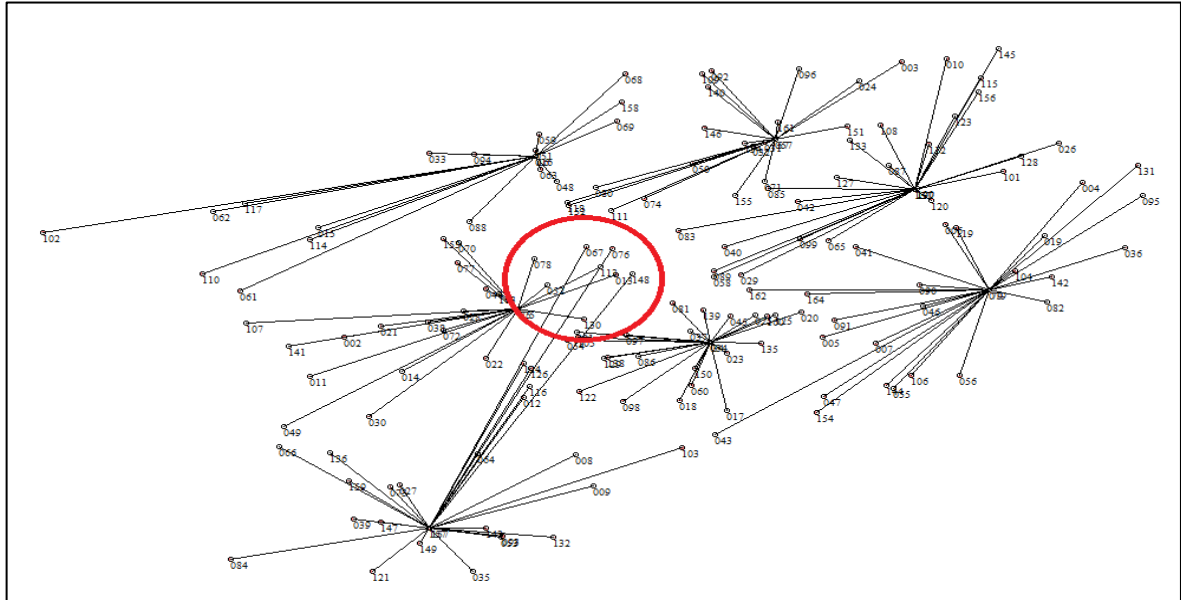


Figura 44: designação heurística com margem de alunos zero, por número de alunos/viatura, Geral BPEC, 1º turno.

A seguir apresenta-se os resultados para o caso da designação por número de alunos/viaturas, Geral BPEC com margem de 1.500 alunos a mais de capacidade. Percebe-se que na figura 45 não se tem esse problema de ter duas viaturas em uma mesma região, sem contar que as permutações proporcionaram no pós-processamento uma diminuição na quilometragem final.

Tabela 27

Resultado heurístico, número de alunos/viatura, Pelotão BPEC - 1º turno

1º turno: 07h00min. às 15h00min.					
Margem	Prefixo	N.º Alunos	Desvio Padrão alunos	KM	Total
1500	M1	30290	1519.51	30,44	238,24 km
	M2	25176		43,61	
	M3	28502		25,85	
	M4	28207		37,91	
	M5	28548		33,62	
	M6	27729		23,68	
	M7	24584		43,11	

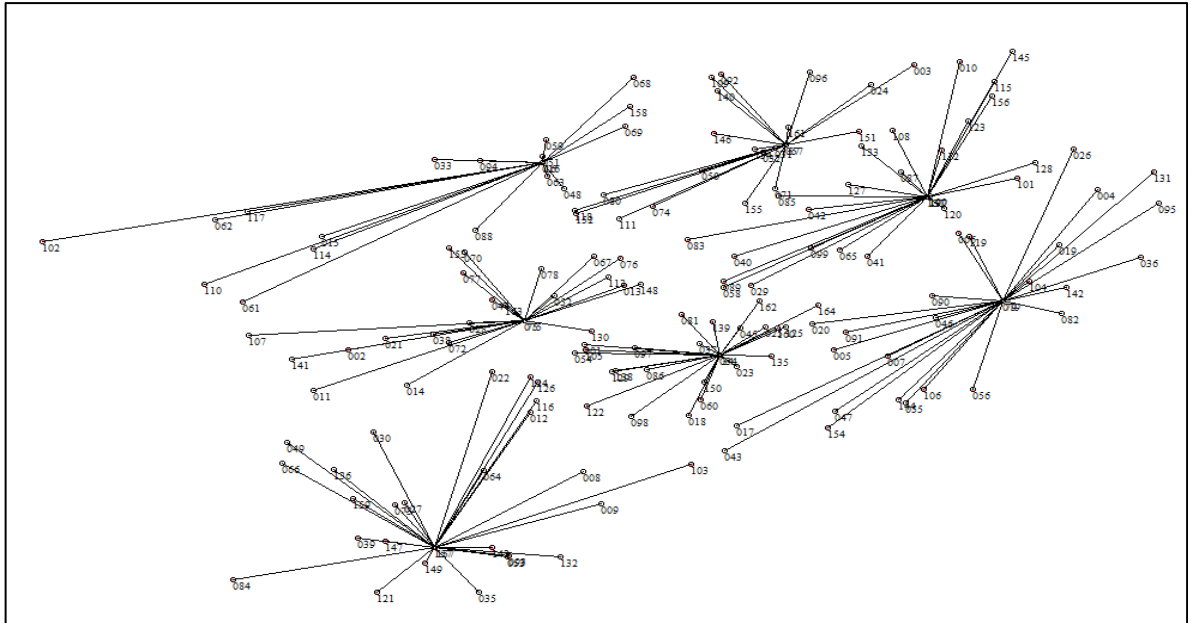


Figura 45: designação heurística, número de alunos/viatura, Geral BPEC, 1º turno.

Também no segundo turno, com o algoritmo heurístico, percebe-se que com a margem zero de alunos o total percorrido foi de 244.54 km, com um desvio padrão na distribuição dos alunos de 937,62. Porém é nítido que a distribuição não é desejável, pois assim como no primeiro turno, existem viaturas interferindo na área territorial de outra equipe, conforme mostra a figura 46.

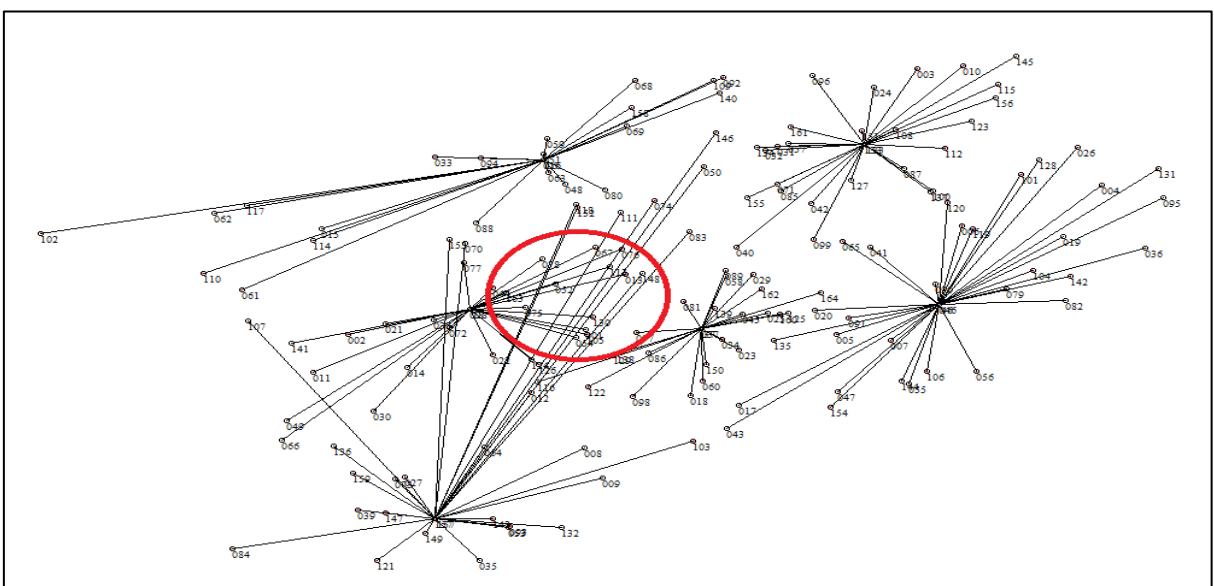


Figura 46: designação heurística com margem de alunos zero, por número de alunos/viatura, Geral BPEC, 2º turno.

Desta forma, foi reprogramado para realizar novas interações, porém alternando a margem de alunos. O melhor custo/benefício foi encontrado com a margem de 1.500 alunos, conforme tabela 28.

Tabela 28

Resultado heurístico, número de alunos/viatura, Geral BPEC - 2º turno

2º turno: 15h00min. às 23h00min.					
Margem	Prefixo	N.º Alunos	Desvio Padrão alunos	KM	Total
1500	T1	35416	1761,76	43.91	240,00 km
	T2	31902		41.31	
	T3	32484		33.73	
	T4	31508		45.80	
	T5	29438		51.02	
	T6	32288		24.20	

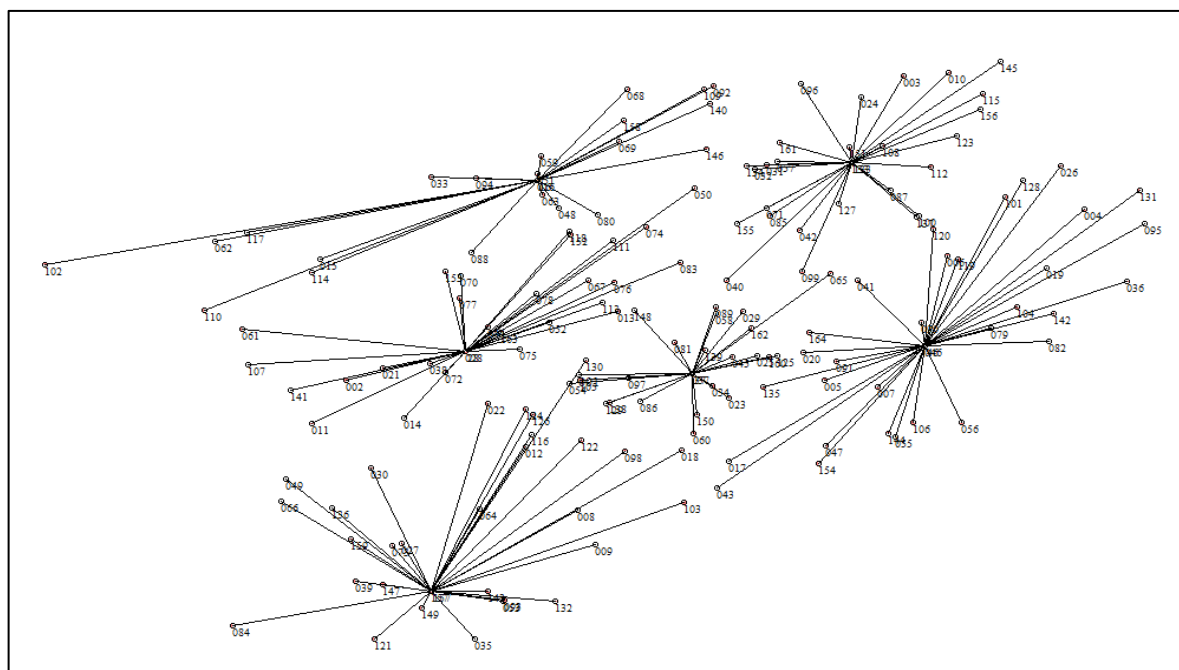


Figura 47: designação heurística, por número de alunos/viatura, Geral BPEC, 2º turno.

Tabela 30

Resultado exato, número de alunos/viatura, Pelotão BPEC - 2º turno

2º turno: 15h00min. às 23h00min.						
Agrupamento	1º pelotão		2º pelotão			
Tempo p -medianas *	00:04:48		00:01:50			
Prefixo	T008	T097	T016	T072	T151	T090**
Tempo roteirização*	00:02:10	00:01:37	00:00:36	00:01:12	00:01:23	08:00:00
Alunos	25872	25425	35458	35640	35225	35416
Desvio padrão alunos	223,5		147,49			
Km	32,34	22,04	42,22	45,32	33,42	50,11
Total km	54,39 km		171,09 km			
	225,48 km					

* tempo gasto computacionalmente em horas/minutos/segundos.

** mais de oito horas rodando sem apresentar o ótimo global.

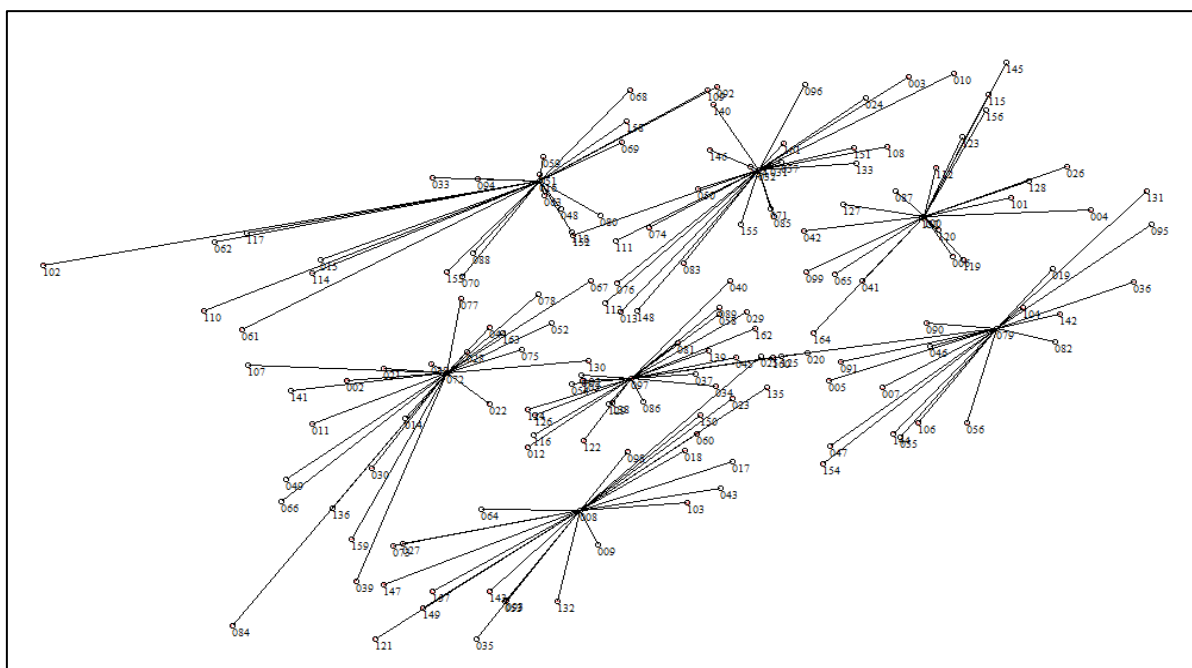


Figura 49: resultado exato, número de alunos/viatura, Pelotão BPEC - 2º turno.

Tabela 32

Resultado heurístico, número de alunos/viatura, Pelotão BPEC - 2º turno

2º turno: 15h00min. às 23h00min.							
Margem	Agrupamento	Prefixo	N.º Alunos	Desvio Padrão alunos	KM		Total
0	1º pelotão	T1	26163	514,50	17,34	57,60	230,44km
		T2	25134		40,25		
500	2º pelotão	T3	35893	1479,09	44,40	172,84	
		T4	36057		36,00		
		T5	32949		47,49		
		T6	36840		44,93		

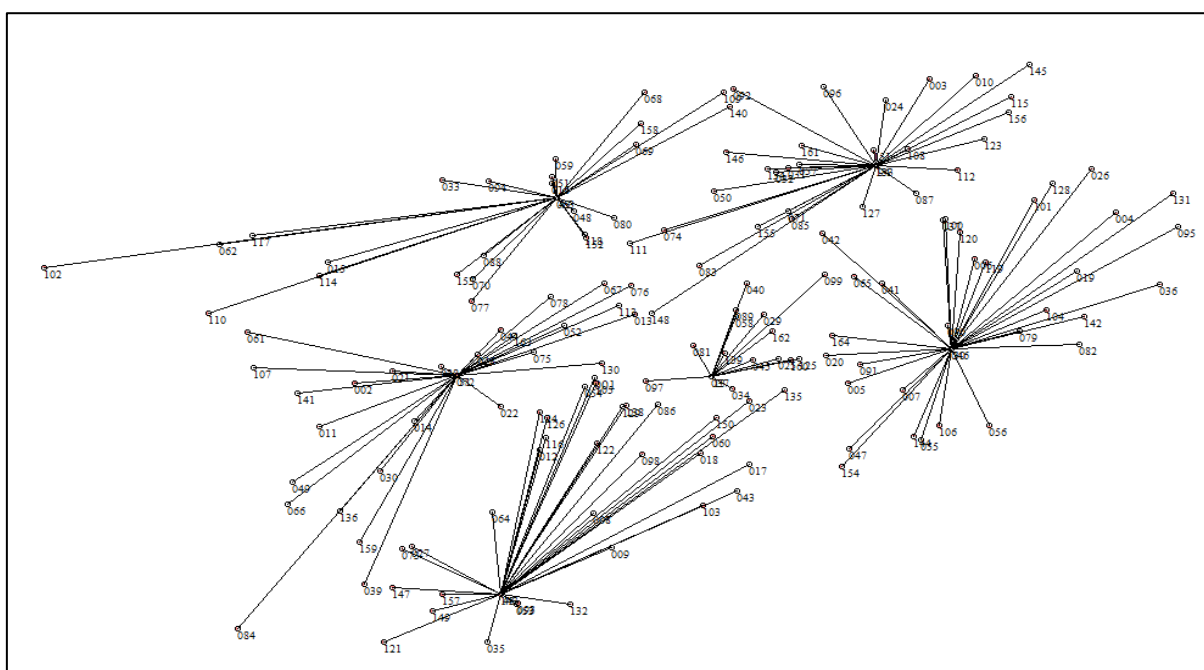


Figura 51: resultado heurístico, número de alunos/ viatura, Pelotão BPEC - 2º turno.

7.3.5 Designação exato, número de alunos/viatura – Agrupamento UOA

Tabela 33

Resultado exato, número de alunos/viatura, UOA - 1º turno

1º turno: 07h00min. às 15h00min.							
Agrupamento	12º BPM		13º BPM		20º BPM		
Tempo <i>p</i> -medianas *	00:01:21		00:58:20		00:02:51		
Prefixo	M008	M097	M063	M072	M046	M112	M161
Tempo roteirização*	00:12:00	00:15:00	00:45:00	00:01:20	00:39	00:13	00:00:11
Alunos	25709	25588	36364	36041	23048	23141	23145

Continuação tabela 33

Desvio padrão	60,6		161,5		44,81		
Km	32,40	23,61	43,23	42,66	33,11	27,08	24,40
Total km	55,65 km		85,88 km		84,59 km		
	226,13 km						

* tempo gasto computacionalmente em horas/minutos/segundos.

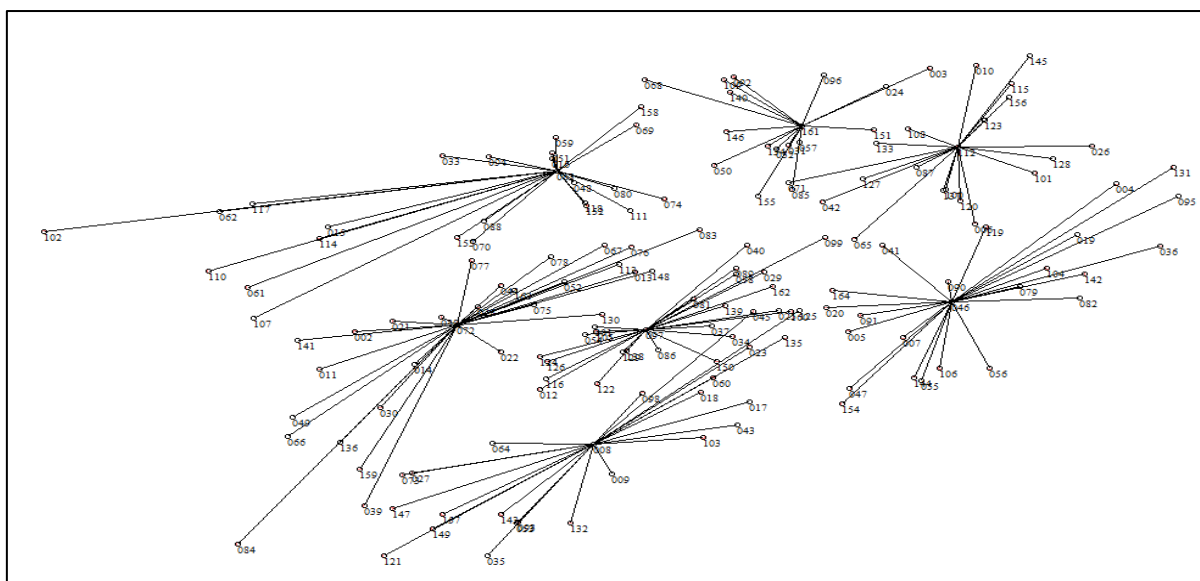


Figura 52: resultado exato, número de alunos/viatura, UOA - 1º turno.

Tabela 34

Resultado exato, número de alunos/viatura, UOA - 2º turno

1º turno: 15h00min. às 23h00min.						
Agrupamento	12º BPM		13º BPM		20º BPM	
Tempo p-medianas *	00:01:21		00:58:20		05:28:29	
Prefixo	T008	T097	T063	T072	T090	T057
Tempo roteirização*	00:00:45	00:00:17	00:01:23	00:00:57	00:01:12	00:40:35
Alunos	25709	25588	36364	36041	34612	34722
Desvio padrão						
Km	32,04	23,61	43,23	42,66	49,44	33,51
Total km	55,65 km		85,88 km		82,95 km	
	224,49 km					

* tempo gasto computacionalmente em horas/minutos/segundos.

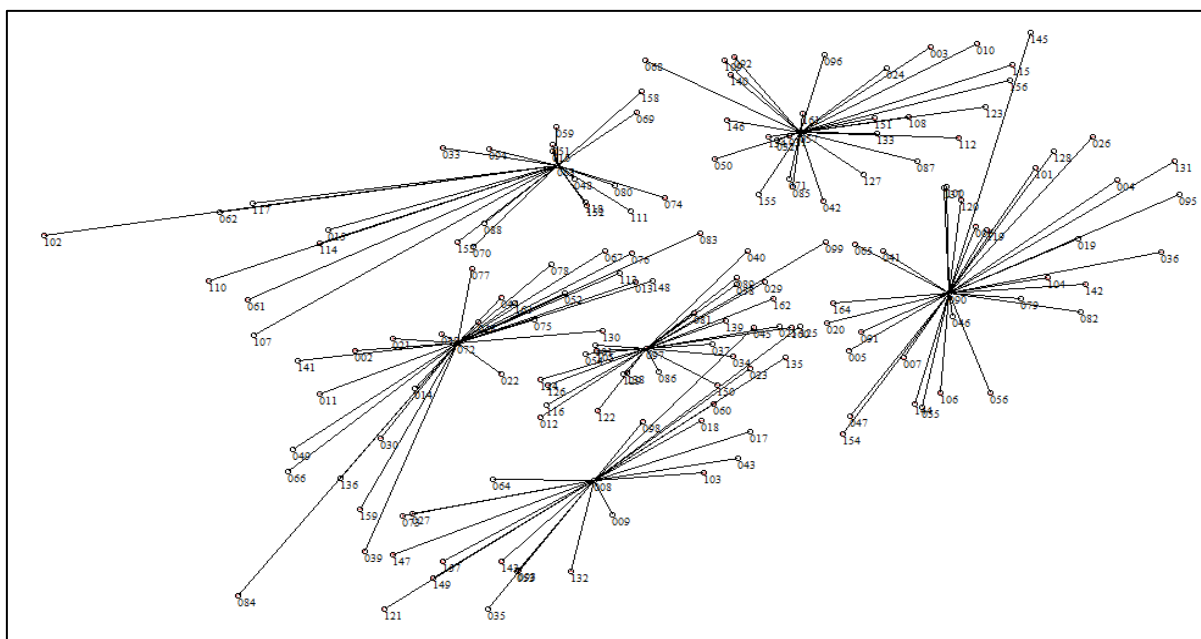


Figura 53: resultado exato, número de alunos/viatura, UOA - 2º turno.

7.3.6 Designação heurística, número de alunos/viatura – Agrupamento UOA

Tabela 35

Resultado heurístico, número de alunos/viatura, UOA - 1º turno

1º turno: 07h00min. às 15h00min.							
Margem	Agrupamento	Prefixo	N.º Alunos	Desvio Padrão alunos	KM		Total
0	12º BPM	M1	26163	514,50	17,34	57,60	202,61 km
		M2	25134		40,25		
	13 BPM	M3	36483	280,50	43,66	87,40	
		M4	35922		43,74		
	20 BPM	M5	24140	908,66	25,39	57,60	
		M6	23264		26,38		
		M7	21930		33,87		

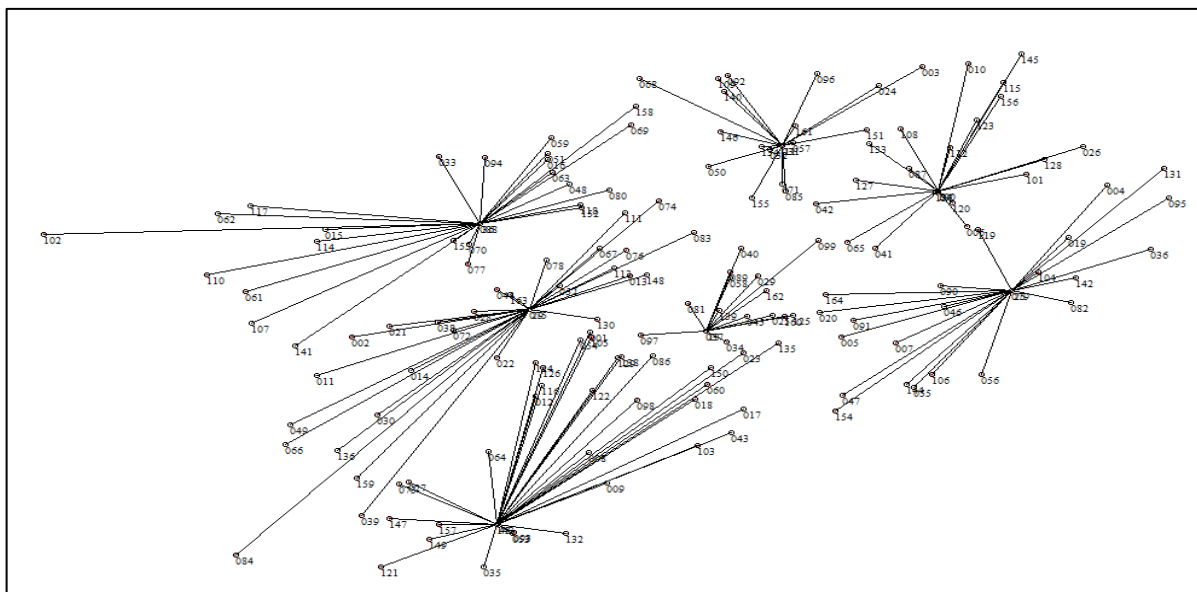


Figura 54: resultado heurístico, número de alunos/viatura, UOA - 1º turno.

Tabela 36

Resultado heurístico, número de alunos/viatura, UOA - 2º turno

2º turno: 15h00min. à 23h00min.						
Margem	Agrupamento	Prefixo	N.º Alunos	Desvio Padrão alunos	km	Total
0	12º BPM	T1	26163	514,50	17,34	223,32 km
		T2	25134		40,25	
	13 BPM	T3	36483	280,50	43,66	
		T4	35922		43,74	
	20 BPM	T5	35637	970,00	35,06	
		T6	33697		43,24	

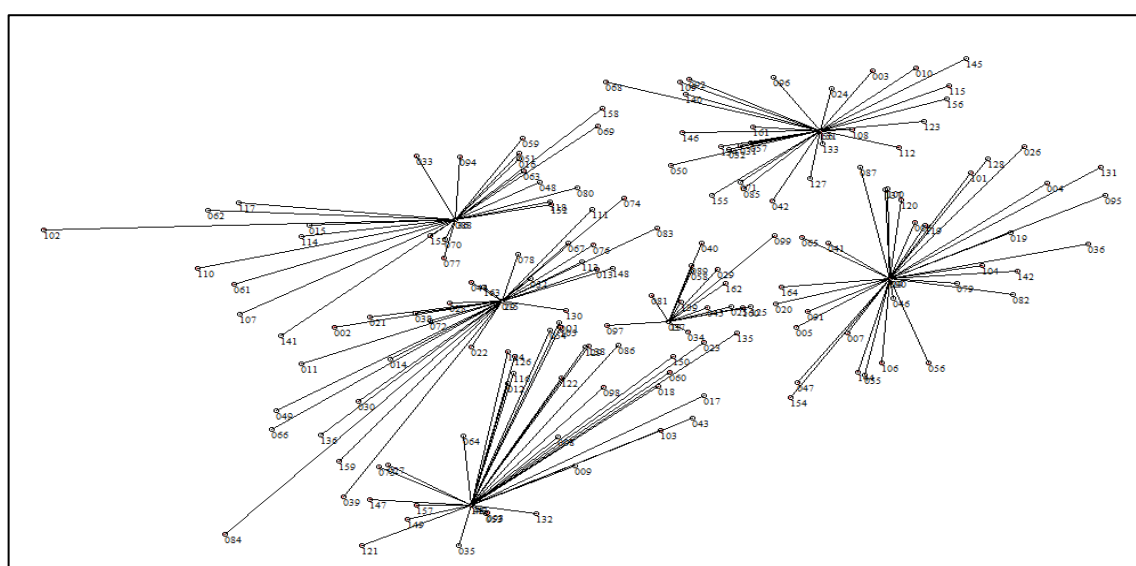


Figura 55: resultado heurístico, número de alunos/viatura, UOA - 2º turno.

CAPÍTULO VIII

8 ANÁLISE DOS RESULTADOS

O objetivo central deste trabalho era comparar a atual distribuição das viaturas do Batalhão de Patrulha Escola Comunitária com a proposta de reestruturação utilizando o modelo das p -medianas. Este modelo se enquadrou bem na estruturação devido ao fato de possibilitar uma distribuição de tal forma que, cada setor de uma viatura não interfere na área de atuação da outra, ou seja, não existe sub-rotas que se cortam, ficando bem evidente o setor de atuação de cada equipe, em todos os tipos de agrupamento no caso da designação ser colégios\viatura, o que já não ocorrem 100% dos casos com a designação por alunos.

Outro fator importante foi a verificação da distribuição por alunos ao invés de por número de viaturas era viável de ser adotada, do ponto de vista operacional. Do ponto de vista da proporção de alunos, os métodos exato e heurístico foram eficientes, porém poderá ocorrer um enorme sobrecarga para algumas viaturas como será demonstrado na sequência.

8.1 DESIGNAÇÃO POR VIATURA: NÚMERO DE COLÉGIOS/VIATURA

8.1.1 Número de colégios/viatura, Geral BPEC: atual x exato x heurístico

O modelo exato não apresentou o ótimo global após dez horas de funcionamento do aplicativo para o agrupamento Geral BPEC. Porém mesmo assim, apresentou uma economia maior do que a atual situação, quando comparado o mesmo algoritmo de roteamento para ambos. Se for feita a comparação do agrupamento no caso Geral BPEC com os outros dois tipos de agrupamento, o modelo exato tenderia a ter a maior economia, pois abre as possibilidades de comparações pelo fato de não ter restrições de limitação de área, porém não foi possível devido as limitações computacionais chegar ao máximo global.

Para o agrupamento pela modalidade Geral BPEC, que utiliza de todos os colégios simultaneamente para fazer as designações, seria necessário que fosse

adotada um canal de rádio comunicação exclusivo para o BPEC, uma vez que neste tipo de agrupamento não é levado em consideração qual o bairro que o colégio está localizado, e sim qual a economia geral que se obtém. Então para poder despachar as ocorrências ou chamados para as viaturas, se faz necessário que um único canal de comunicação, já que pode ocorrer que em uma determinada UOA, como por exemplo, o 13º BPM tenha na sua área de atuação uma viatura que também atende o 12º BPM, causando um transtorno operacional na hora de despachar as ocorrências, já que é coerente que uma viatura permaneça em seu turno de serviço transmitindo e recebendo ocorrências por um único despachante, evitando ter que, a todo o momento, mudar a sintonia do radiocomunicador.

Tabela 37

Comparação final colégios/viatura – Agrupamento Geral BPEC

Geral BPEC					
Algoritmo	Desvio padrão n.º colégios		Total km	% km	Exato x Heurístico
	1º turno	2º turno			
Atual exato	5,36	5,02	457,37	6,13%	5,50%
Nova proposta exata	1,39	1,49	429,5		
Atual heurística	5,36	5,02	490,31	7,34%	
Nova proposta heurística	0,49	0,47	454,32		

8.1.2 Número de colégios/viatura, Pelotão BPEC: atual x exato x heurístico

A seguir são apresentados os comparativos entre os algoritmos, agrupando por Pelotão BPEC. De todas as três formas de agrupamento (Geral, Pelotão, UOA) foi a que mais rendeu economia, chegando a quase 20% para o deslocamento total, nos dois turnos de serviço, aproximadamente 90 quilômetros diariamente.

Ressalta-se que esta proposta também necessitaria de um canal de rádio comunicação exclusiva para o BPEC.

Tabela 38
 Comparação final colégios/viatura – Agrupamento Pelotão BPEC

Pelotão BPEC							
Algoritmo	Distâncias				Total KM	% Km	Exato x Heurístico
	1º turno		2º turno				
	1º pelotão	2º pelotão	1º pelotão	2º pelotão			
Atual exato	112,91	123,79	52,77	167,90	457,37	19,78%	20,59%
Nova proposta exata	107,18	113,70	21,79	124,21	366,88		
Atual heurística	120,65	132,10	56,22	181,33	490,30	5,77%	
Nova proposta heurística	114,22	122,72	102,21	122,86	462,01		

Outro fator importante é que, além de diminuir o total percorrido diariamente, também possibilitou uma melhor distribuição dos colégios por viatura, chegando a se obter o mesmo número de colégios para cada viatura, como por exemplo, no caso do 2º pelotão no 1º turno, conforme tabela 39.

Tabela 39
 Comparação final, desvio padrão de colégios/viatura - Agrupamento Pelotão BPEC

Pelotão BPEC				
Algoritmo	Desvio padrão n.º colégios/viatura			
	1º turno		2º turno	
	1º pelotão	2º pelotão	1º pelotão	2º pelotão
Atual	2,94	4,32	2,50	5,35
Nova Proposta Exata	1,29	0,00	2,16	0,00
Nova Proposta Heurística	0,43	0,00	0,50	0,40

8.1.3 Número de colégios/viatura, UOA: atual x exato x heurístico

As comparações por unidade de área, ou seja, a quantidade de viaturas que o BPEC disponibiliza para atender dos colégios que estão sobre a área de responsabilidade territorial do 12º BPM, 13º BPM ou 20º BPM, como já descrito o BPEC necessita até o presente momento dos canais de radiocomunicação de cada uma destas unidades, então este é o tipo de agrupamento que atualmente é utilizada pelo Batalhão.

O modelo exato representou uma melhoria de 6,12%, reduzindo o deslocamento diário em 28 quilômetros. Já o modelo heurístico, representou uma

diferença em relação ao mesmo algoritmo aplicado atualmente em 6,98%, em relação ao exato uma diferença 5,86%.

Tabela 40
Comparação final colégios/viatura – Agrupamento UOA

UOA									
Algoritmo	Distâncias						Total Km	%	Exato x Heurístico
	1º turno			2º turno					
	12º BPM	13º BPM	20º BPM*	12º BPM	13º BPM	20º BPM			
Atual exato	52,76	96,52	87,41	52,76	89,36	78,53	457,34	6,12%	5,86%
Nova proposta exata	52,73	82,48	82,22	52,73	82,48	76,72	429,36		
Atual heurística	56,22	103,33	93,19	56,22	98,21	83,11	490,28	6,98%	
Nova proposta heurística	54,82	88,86	86,64	54,82	88,86	82,08	456,08		

* Uma equipe de serviço a mais no 1º turno.

Também ocorreu a padronização da quantidade de colégios por veículos, onde deixou de, por exemplo, a viatura atual do 20º BPM que tem um desvio padrão de 6,5 para apenas 0,5 colégios por viaturas.

Tabela 41
Comparação final, desvio padrão de colégios/viatura - Agrupamento UOA

UOA						
Algoritmo	Desvio padrão n.º colégios/viatura					
	1º turno			2º turno		
	12º BPM	13º BPM	20º BPM*	12º BPM	13º BPM	20º BPM
Atual	2,50	1,00	4,30	2,50	3,00	6,50
Nova proposta Exata	0,50	0,00	0,47	0,50	0	0,5
Nova proposta Heurística	0,50	0,00	0,47	0,50	0	0,5

* Uma equipe de serviço a mais no 1º turno.

Conclui-se que todas as formas de agrupamento, utilizando com critério de designação o número de colégios por viatura, apresentaram uma solução melhor que a atual, e principalmente, evitando que uma determinada viatura seja sobrecarregada com um maior número de colégios para realizar visitas.

Possibilitando aumentar a quantidade de visitas diárias e diminuir o deslocamento entre um estabelecimento de ensino e outro.

8.2 DESIGNAÇÃO POR VIATURA: NÚMERO DE ALUNOS/VIATURA

Uma das metas deste trabalho era a viabilidade de designar os colégios para as equipes de serviço limitando-as pela mesma média de alunos. Podendo ocorrer um maior número de colégios para uma viatura, porém colégios com poucos alunos, ficando com uma população estudantil equilibrada por viatura.

Os resultados apontaram uma discrepância muito grande da quantidade de colégios que cada viatura teria que atender, apresentando melhoras não significativas quando comparadas ao critério número de colégios/viatura, como será apresentado a seguir.

8.2.1 Número de alunos/viatura, Geral BPEC: atual x exato x heurístico

No agrupamento Geral BPEC, ocorreu 6,84% na porcentagem entre os dois algoritmos, exato e heurístico, com uma melhoria de aproximadamente 12 quilômetros.

Tabela 42
Comparação final alunos/viatura – Agrupamento Geral BPEC

Geral BPEC					
Algoritmo	Distância		Total km	% Km	Exato x Heurístico
	1º turno	2º turno			
Atual exato	236,70	220,67	457,37	2,59%	6,84%
Nova proposta exata	216,83	228,68	445,51		
Atual heurística	252,75	237,55	490,30	2,46%	
Nova proposta heurística	238,24	240,00	478,24		

O desvio padrão da quantidade de alunos por viatura, ficou abaixo dos 6% para o algoritmo heurístico e abaixo dos 3% para o exato.

Tabela 43

Comparação final alunos/viatura, desvio padrão de alunos\viatura - Geral BPEC

Geral BPEC		
Algoritmo	Desvio padrão n.º alunos	
	1º turno	2º turno
Média n.º alunos	27576,57	32172,66
Nova proposta exata	365,55	947,69
% (Desvio exato/média)	1,33%	2,95%
Nova proposta heurística	1519,52	1761,76
% (Desvio heurística/média)	5,51%	5,48%

Para o agrupamento Geral BPEC, o desvio padrão de colégios por viatura nos dois turnos ficou um pouco abaixo do igual ao que ocorre atualmente, que é de 4,8 possibilitando, se for necessária, a utilização desse critério para distribuição. Das viaturas do BPEC, porém não haverá grandes economias do total percorrido para atender todos os colégios, aproximadamente 2,5 %.

Tabela 44

Comparação final alunos/viatura, desvio padrão de colégios\viatura - Geral BPEC

Geral BPEC		
Algoritmo	Desvio padrão n.º colégios/viatura	
	1º turno	2º turno
Proposta Exata	4,20	2,98
Proposta Heurística	2,87	2,98

8.2.2 Número de alunos/viatura, Pelotão BPEC: atual x exato x heurístico

O agrupamento por pelotões representou um excelente desvio padrão na distribuição dos colégios com o algoritmo exato, ficando abaixo dos 1,5% em relação a média. Já o algoritmo heurístico, ocorreu um pico no 1º pelotão no primeiro turno, ficando com 7,37 % de desvio padrão e 2,01% para o 2º pelotão.

A diferença do total percorrido entre os algoritmos foi de 3,10%, com uma diferença de 14,52 km.

Tabela 45
 Comparação final alunos/viatura – Pelotão BPEC

Algoritmo	Distâncias				Total km	% Km	Exato x Heurístico
	1º turno		2º turno				
	1º pelotão	2º pelotão	1º pelotão	2º pelotão			
Atual exato	112,91	123,79	52,76	167,90	457,36	0,90%	3,10%
Nova proposta exata	112,2	115,55	54,39	171,09	453,23		
Atual heurística	120,65	132,10	56,22	181,33	490,30	4,60%	
Nova proposta heurística	111,78	125,53	57,60	172,84	467,75		

Tabela 46
 Comparação final alunos/viatura, desvio padrão de alunos/viatura - Pelotão BPEC

Algoritmo	1º turno		2º turno	
	1º pelotão	2º pelotão	1º pelotão	2º pelotão
Média n.º alunos	59239,75	25648,5	33290,67	35434,75
Nova proposta exata	203,34	223,5	446,69	147,49
% Atual x exato	0,34%	0,87%	1,34%	0,42%
Nova proposta heurística	4366,09	514,5	1325,78	1479,09
% Atua x heurística	7,37%	2,01%	3,98%	4,17%

Para o 2º pelotão do 1º turno, o algoritmo heurístico obteve um bom desvio padrão com 514 alunos, cerca de 2,0% em relação à média. Porém o custo foi obter um alto número de colégios para uma única viatura deste pelotão, ficando com o desvio padrão de 9,5 viaturas, o que é um valor alto por se tratar de apenas três viaturas, o que neste caso, ocasionaria uma grande quantidade de colégios para serem visitados diariamente.

Tabela 47
 Comparação final alunos/viatura, desvio padrão de colégios/viatura – Pelotão BPEC

Algoritmo	Desvio padrão n.º colégios/viatura			
	1º turno		2º turno	
	1º pelotão	2º pelotão	1º pelotão	2º pelotão
Nova proposta exata	1,79	0,5	0,81	2,16
Nova proposta heurística	2,27	9,5	1,41	2,86

8.2.3 Número de alunos/viatura, UOA: atual x exato x heurístico

Finalizando esta seção, analisando o desempenho do total percorrido, utilizando como agrupamento a unidade de área (semelhante o que ocorre hoje). Ambos se igualaram no quesito distância percorrida, ficando apenas 0,75% a menos o algoritmo exato, com 450,60 km contra 453,99 km do heurístico.

Tabela 48
Comparação final alunos/viatura - UOA

Algoritmo	Km percorrido						Total km	% km	% E x H
	1º turno			2º turno					
	12º BPM	13º BPM	20º BPM*	12º BPM	13º BPM	20º BPM			
Atual exato	52,76	96,52	87,41	52,76	89,36	78,53	457,34	1,47%	0,75%
Nova proposta exata	55,65	85,88	84,59	55,65	85,88	82,95	450,60		
Atual heurística	56,22	103,3	93,19	56,22	98,21	83,11	490,28	7,40%	
Nova proposta heurística	57,60	87,41	85,66	57,6	87,41	78,31	453,99		

Nesta forma de agrupamento, foi grande a diferença entre os algoritmos exato e heurístico, no desvio padrão dos alunos em cada viatura, ficando abaixo dos 0,5 %, sendo a melhor opção entre os três tipos de agrupamento.

O Algoritmo heurístico desempenhou um resultado satisfatório, ficando na média dos 2,0% de desvio padrão dos alunos, porém com um pico de 5,9 % para o 20º BPM no 1º turno, que foi simulado com três viaturas.

Tabela 49
Comparação final alunos/viatura, desvio padrão de alunos/viatura - UOA

Algoritmo	Desvio padrão n.º alunos					
	1º turno			2º turno		
	12º BPM	13º BPM	20º BPM*	12º BPM	13º BPM	20º BPM
Média n.º alunos	25648,5	36202,5	15396,3	25648,5	36202,5	34667
Nova proposta exata	60,6	161,5	44,81	60,6	161,5	55,00
% (Desvio exato/média)	0,24%	0,45%	0,29%	0,24%	0,45%	0,16%
Nova proposta heurística	514,5	280,5	908,66	514,5	280,5	970,00
% (Desvio heurística/média)	2,01%	0,77%	5,90%	2,01%	0,77%	2,80%

* Uma equipe de serviço a mais no 1º turno.

O algoritmo exato também possibilitou uma melhor distribuição do número de colégios por viatura, ficando um baixo desvio padrão, sendo o mais alto com 2,86 % para o 20º BPM no 1º turno.

Já o algoritmo heurístico, embora também apresentou um baixo desvio padrão, ocorreu um salto para os setores da área do 12º BPM no primeiro turno. Fato este que pode estar relacionado com colégios com maiores números de alunos estarem nesta área, como por exemplo, o Colégio Estadual do Paraná, que possuem mais de 3.000 alunos matriculados, o que no momento da designação, veio a preencher a capacidade da mediana muito rapidamente, com um pequeno número de estabelecimentos de ensino necessários para esgotar a capacidade.

Desta forma, teria uma viatura com uma quantidade pequena de colégios a serem atendidos, porém grande concentração de alunos, e do outro lado, um número grande de colégios, mas com menor quantidade de alunos em cada um.

Tabela 50

Comparação final alunos/viatura, desvio padrão de colégios/viatura - UOA

Algoritmo	Desvio padrão n.º colégios/viatura					
	1º turno			2º turno		
	12º BPM	13º BPM	20º BPM*	12º BPM	13º BPM	20º BPM
Nova proposta exata	0,5	2	2,86	0,5	2,00	2,50
Nova proposta heurística	9,5	2	2,05	9,5	2	2,50

* Uma viatura a mais que no segundo turno.

CAPÍTULO IX

9 CONCLUSÃO E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

9.1 CONCLUSÃO

O objetivo do estudo era aperfeiçoar a atual distribuição dos colégios a serem atendidos pelas equipes de serviço do BPEC. No que se refere o algoritmo exato, o que representou a melhor economia foi o agrupamento por pelotões, limitando a capacidade de cada viatura pelo número de colégios, economizando para visitar todos os colégios uma média de 90 quilômetros. Considerando o fato que cada equipe de serviço trabalha diariamente de segunda a sexta-feira, esse número aumenta no decorrer da semana.

Percebe-se que a distribuição utilizando como designação o número de colégios por viaturas continua sendo o mais justo. Pois possibilita que uma viatura possa realizar mais visitas a uma quantidade maior de colégios por dia.

O modelo exato implica na aquisição da licença de outro aplicativo comercial e ainda a utilização do algoritmo exato causa demora em encontrar o ótimo global (não tendo garantia que encontrará) como exemplo de ter sido interrompido após dez horas sendo executado e não achar a solução ótima para o caso geral das p -medianas. Além do fato que futuramente possa se acrescentar mais colégios, tanto municipais como estaduais, dependendo apenas de um estudo prévio do número de chamados que a rede municipal ou particular gera diariamente, o que tornaria maior o número de colégios que o aplicativo teria que distribuir, podendo novamente causar um demora na sua execução.

O algoritmo heurístico, além de também proporcionar um ótimo desvio padrão no total de colégios por viaturas, fica com um desempenho satisfatório em relação a atual distribuição.

Em relação à viabilidade de adotar como critério de capacidade para cada equipe a média do número de alunos, percebe-se que o total percorrido para visitar todos os estabelecimentos não sofre grandes melhorias em relação a situação atual, ficando com desempenho abaixo dos resultados apresentados pela distribuição de

colégios/viatura. O fato de uma viatura atender um número grande de colégios e outras uma quantidade menor acaba sobrecarregando uma equipe de serviço, como na situação da diferença de uma viatura atender 15 colégios e outra com 34. Ainda, por impossibilidade técnica de acessar os dados do número de ocorrências no momento do presente estudo, não há garantias que colégios com maior corpo discente tendem a gerar maior quantidade de chamados de ocorrências no município de Curitiba/PR, somente de posse desses dados que poderá ser feita uma análise mais profunda. Sem contar que a heurística apresentada neste estudo, acabou distribuindo os colégios de uma forma que o desvio padrão ficou alto.

A implantação de um canal de radiocomunicação exclusiva para o BPEC, possibilitando o agrupamento dos colégios dentro da área territorial dos pelotões do BPEC, não dependendo dos despachantes do 12º BPM, 13 BPMº e 20 BPM para encaminhar ocorrências as equipes, produz redução de aproximadamente 20 % no percurso necessário para visitar todos os colégios dentro de um setor de serviço, aumentando ainda mais a agilidade no deslocamento das equipes.

9.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para aumentar o desempenho e qualidade dos serviços prestados pelo Batalhão de Patrulha Escolar Comunitária, sugere-se como trabalhos futuros:

- a) Utilização de metaheurística para tentar melhorar a solução não exata;
- b) Estudo do número de chamados que as redes municipal e particular geram, para identificar e acrescentar estes estabelecimentos de ensino na lista de designação;
- c) Realizar levantamento da quantidade de ocorrências geradas em cada estabelecimento de ensino;
- d) Realizar levantamento estatístico do número de ocorrências pelo número de alunos em cada estabelecimento de ensino;
- e) Considerar obstáculos que possam interferir no deslocamento das viaturas, como atravessar rodovias, sentidos das ruas e real distância entre dois estabelecimentos de ensino, ao invés das distâncias euclidianas utilizadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

APPLEGATE, David L. et al. al. ***The travelling salesman problem: a computational Study***. Princeton University Press, Princeton, 2006.

BODIN, L.D.; GOLDENM, B.; ASSAD A.; BALL, M. **Routing and scheduling of vehicles and crews: The state of the art**. Computers and Operations Research, vol.10, n.2., 1983.

BRASIL. **Constituição**. Brasília: senado Federal, 1988.

CHAVES, Antônio Augusto. **Modelagens exata e heurística para resolução do problema do caixeiro viajante com coletas de prêmios**. 2003. Monografia, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2003.

CLARKE, G.e J.W. Wright. **Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points**. *Operations Research*, v.12, p.568-581,1964.

CONSULTAS DE ESCOLAS. In **Secretaria de Estado de Educação do Paraná – SEED**. Disponível em: <<http://www.diaadiaeducacao.pr.gov.br>>. Acesso em 10 dez. 2010.

CORRÊA, Elon Santos. **Algoritmo Genético e Busca Tabu aplicados ao problema das p-mediana**, 2000. Dissertação Mestrado, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000.

COSTA, Deise Maria Bertholdi. **Aplicação de algumas técnicas da Pesquisa Operacional na otimização dos serviços postais**. 1997. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1997.

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

DETOFEN, Thober Coradi. **Otimização de rotas de coleta de resíduos sólidos urbanos, utilizando técnicas de Pesquisa Operacional**. 2009. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

DIAS, António Ferreira. **O problema da p-mediana aplicado ao problema da gestão óptima da diversidade**. 2005. Dissertação Mestrado, Universidade de Aveiro.

FORMIGONI, Emerson Eduardo. **Resolução de problemas de roteamento de veículos na entrega de produtos da indústria avícola**. 2005. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

GAREY, M. R. et al; JOHNSON, D. S. **Computers and Intractability. A Guide to the Theory of NP-Completeness**. W. H Freeman and Company, 1979.

GILLET, B.E.; MILLER L.R. **A heuristic algorithm for the vehicle dispatch problem**. Operations Research, v.22, p.240-249, 1974.

GOLDBARG, Marcos Cesar; LUNA, Henrique Pacca L. **Otimização Combinatória e Programação Linear: Modelos e algoritmos**. 6.ed. Rio de Janeiro: Campus, 2000.

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

LINS, S.; KERNIGHAN, B. W. **An effective heuristic algorithm for the traveling salesman problem**. Op. Res., v. 21, p. 498-516. 1973.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Resultado da Pesquisa Nacional de Saúde escolar (PeNSE)**. Rio de Janeiro, 2009.

JUNIOR, Edson Riato Junior. **Distribuição otimizada de viaturas da Polícia Militar**. 2003. Dissertação Mestrado, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2003.

LINDO. Manual do Lingo. Lingo 12.0. **Lindo Systems, Inc.** N. Dayton, Chicago.

LOBO, Débora da Silva. **Dimensionamento e otimização locacional de unidades de educação infantil**. 2003. Tese Doutorado, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

MINIEKA, E. **The Center and a medians of a graph**. Operations Research, vol. 25, n.4, p. 641-650, 1977.

PARANÁ. Diretriz, n. 04, de 02 de julho de 2003. Defini o campo de ação da Patrulha Escolar; melhorar o emprego operacional e o tempo de resposta em ocorrências em escolas ou próximo a essas, **Polícia Militar do Paraná, PM/3**, Curitiba.

PARANÁ. Plano de Operações, n. 01, de 20 de fevereiro de 2004. Estabelece os critérios para o Patrulhamento Escolar Comunitário, **Polícia Militar do Paraná, PM/3**, Curitiba.

PARANÁ. Decreto, n. 2832, de 22 de abril de 2004. A Central de Atendimento Telefônico de Emergência do Estado fica unificada, no âmbito da Secretaria de Estado da Segurança Pública-SESP, sob o nome de Centro Integrado de Operações de Segurança Pública-CIOSP. **Diário Oficial do Estado do Paraná**, Curitiba, PR, n. 6713, 22 de abril de 2004.

PARANÁ. Lei n. 16.575, de 28 de setembro de 2010. Dispõe que a Polícia Militar do Estado do Paraná (PMPR) destina-se à preservação da ordem pública, à polícia ostensiva, à execução de atividades de defesa civil, além de outras atribuições previstas na legislação federal e estadual. **Diário Oficial do Estado do Paraná**, Curitiba, PR, n. 8314, 29 de setembro de 2010.

Polícia Militar do Paraná – PMPR. Disponível em: <<http://www.pmpr.pr.gov.br>>. Acesso em 01 abr. 2011.

ROSÁRIO, Ronilson Leal do. **Proposta de solução para o problema das p -medianas na localização de unidades de saúde 24 horas.** 2002. Dissertação Mestrado, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.

SAMPAIO, Maria Eugênia de Carvalho e Silva. **Aplicação de metaheurística ao problema de localização de escolas de ensino fundamental.** 1999. Dissertação Mestrado, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1999.

SILVA, Tânia Cordeiro Lindbeck da. **O problema de Programação de horários de trabalho considerando preferências e hierarquia: Aplicação a uma escala de plantão de militares.** 2002. Dissertação Mestrado, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.

SMIDERLE, Andreia et al. **Estudo de caso da distribuição geográfica das unidades farmacêuticas do município de Pato Branco – PR.** In: XXV Encontro Nac. de Engenharia de Produção, 2005, Porto Alegre, 2005.

TEITZ, M. B.; BART, P. **Heuristics methods for estimating the generalized vertex median of a weighted graph.** Operations Research, v.16, p.955-961, 1968.

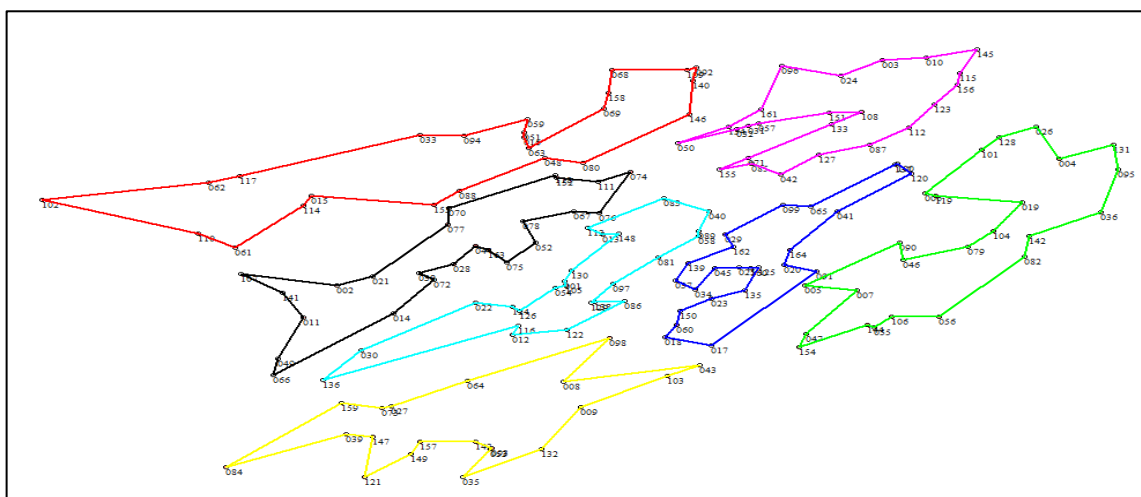
IBGE. Manual do TCGeo. **Sistema de Transformação de Coordenadas.** Diretoria de Geociência.

ZAMBONI, Luzia Vidal de Souza. **Técnicas de roteirização de veículos aplicada ao transporte escolar.** 1997. Dissertação Mestrado, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1997.

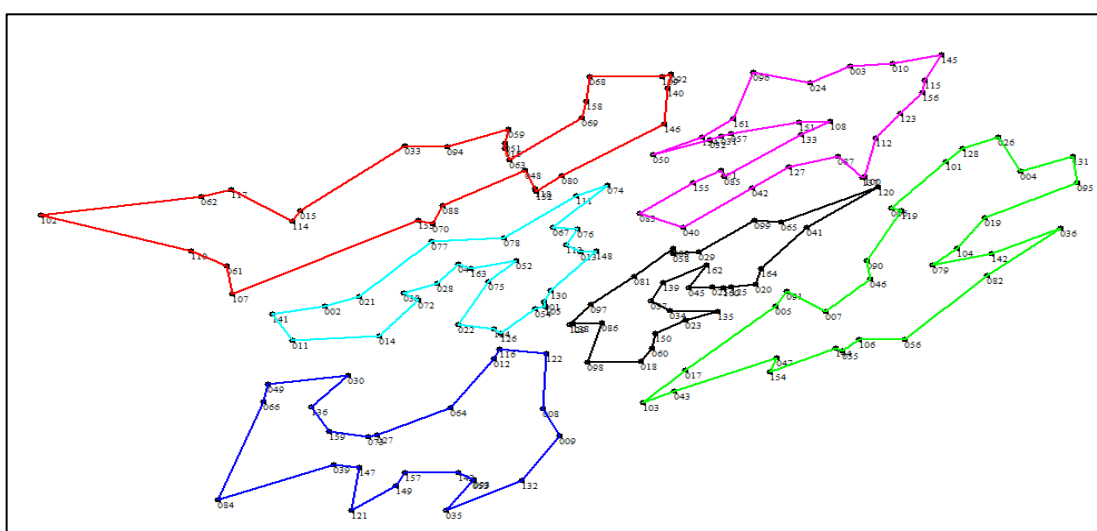
ANEXO A – ROTEAMENTO POR COLÉGIOS/VIATURA

A seguir apresenta-se as ilustrações dos roteamentos das viaturas segundo a designação de colégios por alunos. Cada poligonal fechada, indiferente de sua cor, representa um setor atendido por uma equipe de serviço, conforme apresentado neste trabalho. Também apresenta-se as tabelas contendo a sequência de visitas das equipes de serviço em cada setor, onde cada viatura foi denominada com um prefixo genérico.

Roteamento exato, colégios\viaturas, agrupamento Geral BPEC - 1º turno.



Roteamento exato, colégios\viaturas, agrupamento Geral BPEC - 2º turno.



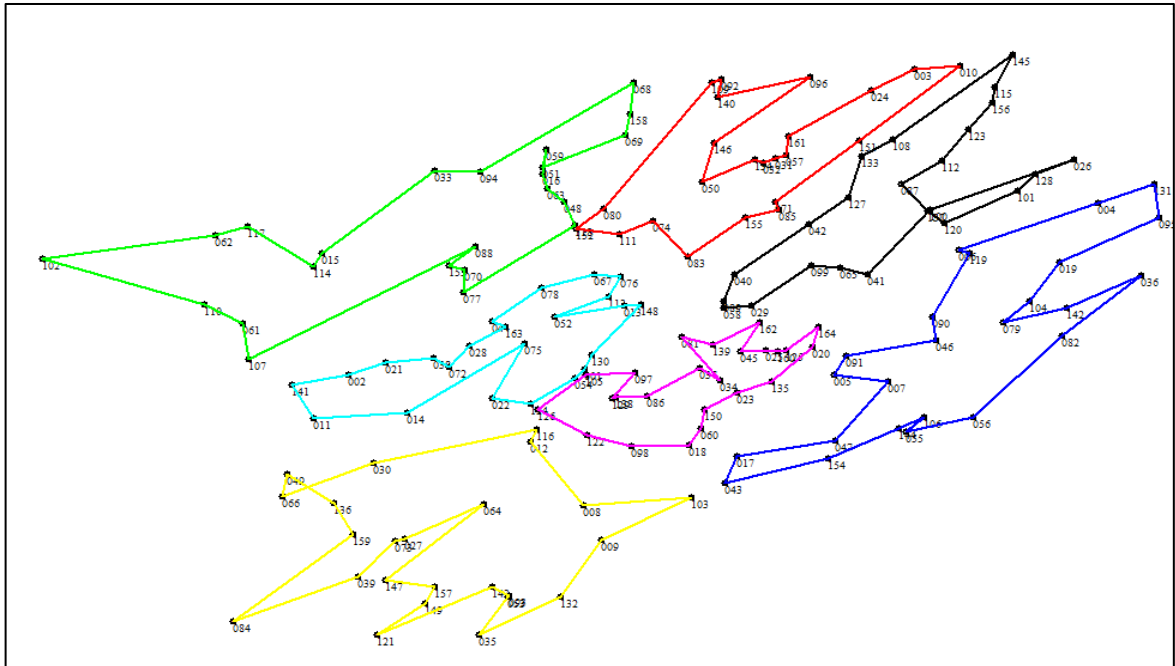
Continuação anexo A – roteamento por colégios/viatura

Roteamento exato, colégios/viaturas, agrupamento Geral BPEC.

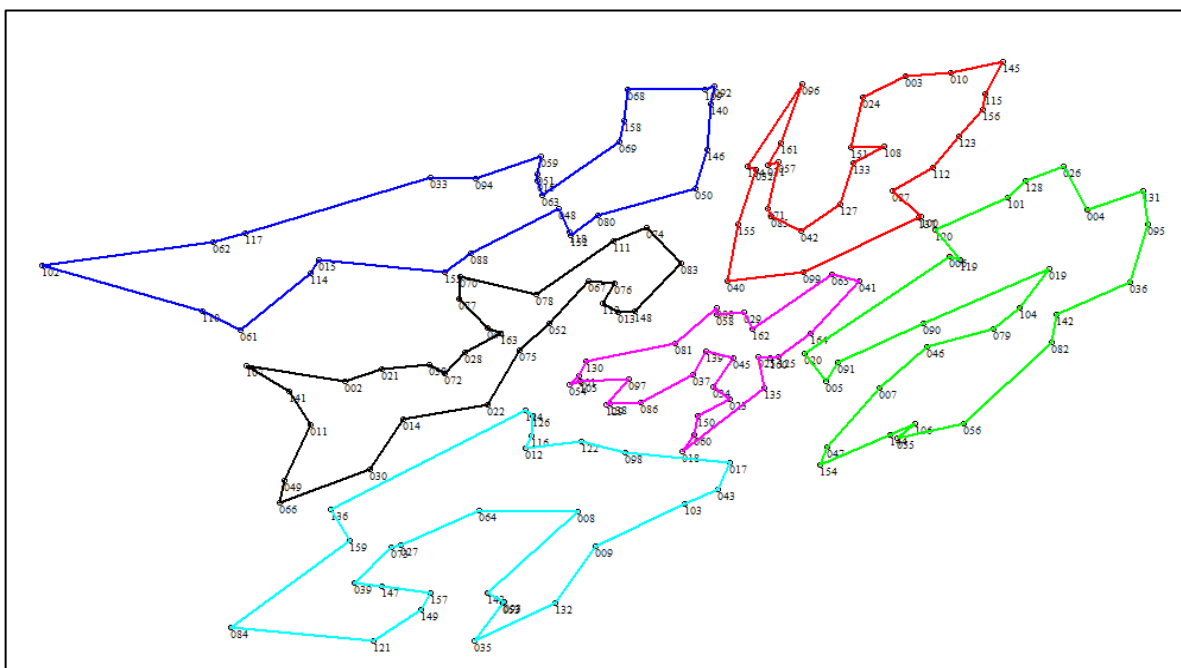
1º turno: 07h00min às 15h00min							2º turno: 15h00min às 23h00min					
M016	M151	M157	M105	M 044	M 079	M025	T027	T045	T046	T075	T133	T016
15	3	8	1	2	4	17	8	18	4	1	3	15
153	10	98	105	21	131	91	9	60	131	130	24	33
88	145	64	54	77	95	20	132	150	95	148	96	94
48	115	27	126	70	36	164	35	23	19	13	161	59
80	156	73	124	118	142	41	53	135	104	113	134	51
146	123	159	22	152	82	120	93	34	79	76	50	16
140	112	84	30	111	56	100	143	37	142	67	32	63
92	87	39	136	74	106	137	157	139	36	74	31	69
109	127	147	116	76	55	65	149	162	82	111	57	158
68	42	121	12	67	144	99	121	45	56	78	151	68
158	85	149	122	78	154	29	147	25	106	77	108	109
69	155	157	86	52	47	162	39	160	55	21	133	92
63	71	143	138	75	7	139	84	125	144	2	85	140
16	133	93	129	163	5	37	66	20	154	141	71	146
51	108	53	97	44	90	34	49	164	47	11	155	80
59	151	35	81	28	46	45	30	41	43	14	83	152
94	57	132	58	38	79	25	136	120	103	72	40	118
33	31	9	89	72	104	160	159	65	17	38	42	48
117	32	103	40	14	19	125	73	99	5	28	127	88
62	50	43	83	66	119	135	27	29	91	44	87	70
102	134		113	49	6	23	64	58	7	163	137	153
110	161		13	11	101	150	12	89	46	52	100	107
61	96		148	141	128	60	116	81	90	75	112	61
114	24		130	107	26	18	122	97	119	22	123	110
								129	6	124	156	102
								138	101	126	115	62
								86	128	54	145	117
								98	26	105	10	114

Continuação anexo A – roteamento por colégios/viatura

Roteamento heurístico, colégios/viaturas, agrupamento Geral BPEC - 1º turno.



Roteamento heurístico, colégios/viaturas, agrupamento Geral BPEC - 2º turno.



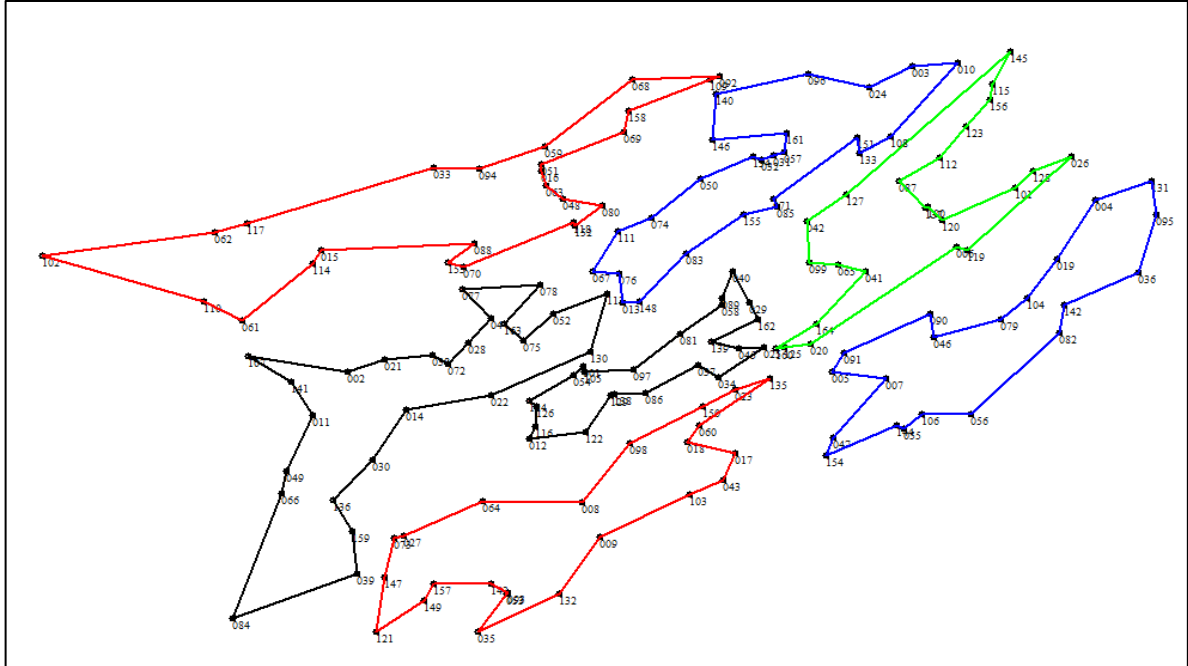
Continuação anexo A – roteamento por colégios\viatura

Roteamento heurístico, colégios/viaturas, agrupamento Geral BPEC

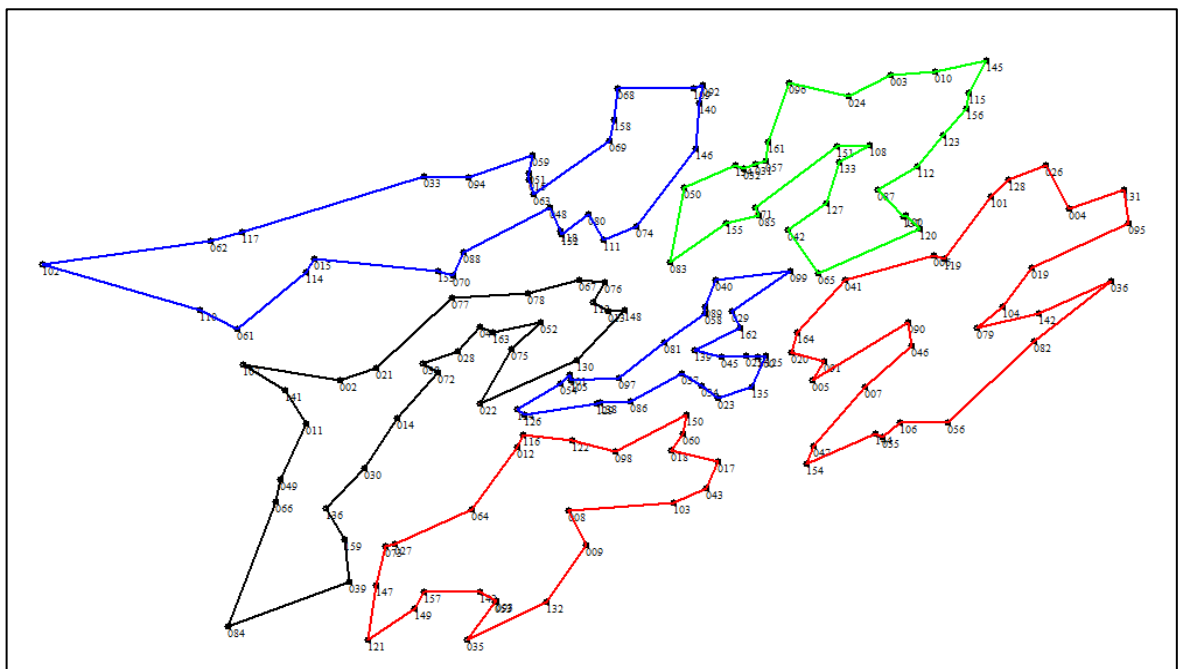
1º turno: 07h00min às 15h00min							2º turno: 15h00min às 23h00min					
M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	T1	T2	T3	T4	T1	T2
87	142	161	63	14	37	149	72	51	108	7	149	139
112	36	24	48	11	86	121	38	59	151	47	121	45
123	82	3	118	141	138	143	21	94	24	154	84	34
156	56	10	77	2	129	93	2	33	3	144	159	23
115	55	151	70	21	97	53	107	117	10	106	136	150
145	106	71	153	38	105	35	141	62	145	55	124	60
108	144	85	88	72	126	132	11	102	115	56	126	18
133	154	155	107	28	122	9	49	110	156	82	116	135
127	43	83	61	163	98	103	66	61	123	142	12	25
42	17	74	110	44	18	8	30	114	112	36	122	160
40	47	111	102	78	60	12	14	15	87	95	98	125
89	7	152	62	67	150	116	22	153	100	131	17	164
58	5	80	117	76	23	30	75	88	137	4	43	41
29	91	109	114	113	135	66	52	48	99	26	103	65
99	46	92	15	52	20	49	67	118	40	128	9	162
65	90	140	33	13	164	136	76	152	155	101	132	29
41	119	96	94	148	125	159	113	80	32	120	35	58
100	6	146	68	130	160	84	13	50	134	119	53	89
26	4	50	158	1	25	39	148	146	96	6	93	81
128	131	134	69	54	45	73	83	140	161	20	143	130
101	95	32	51	124	162	27	74	92	31	5	8	1
120	19	31	59	22	139	64	111	109	57	91	64	54
137	104	57	16	75	81	147	78	68	71	90	27	105
	79				34	157	70	158	85	19	73	97
							77	69	42	104	39	129
							44	63	127	79	147	138
							163	16	133	46	157	86
							28					37

Continuação anexo A – roteamento por colégios\viatura

Roteamento exato, colégios/viaturas, agrupamento Pelotão BPEC - 1º turno.



Roteamento exato, colégios/viaturas, agrupamento Pelotão BPEC - 2º turno.



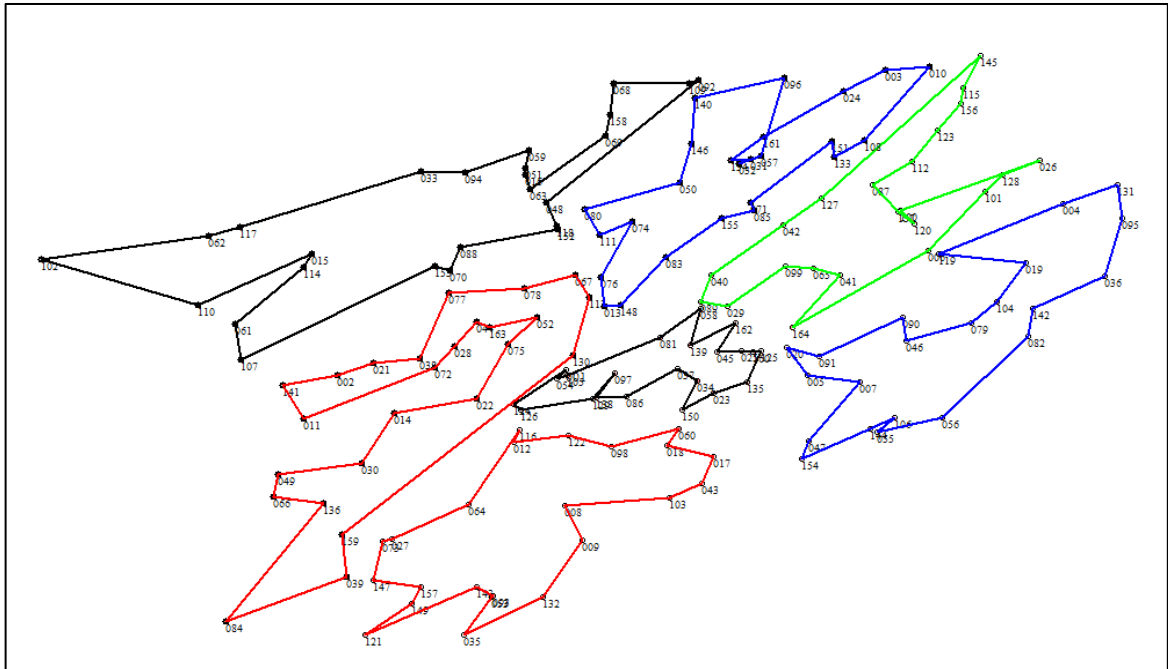
Continuação anexo A – roteamento por colégios/viatura

Roteamento exato, colégios/viaturas, agrupamento Pelotão BPEC.

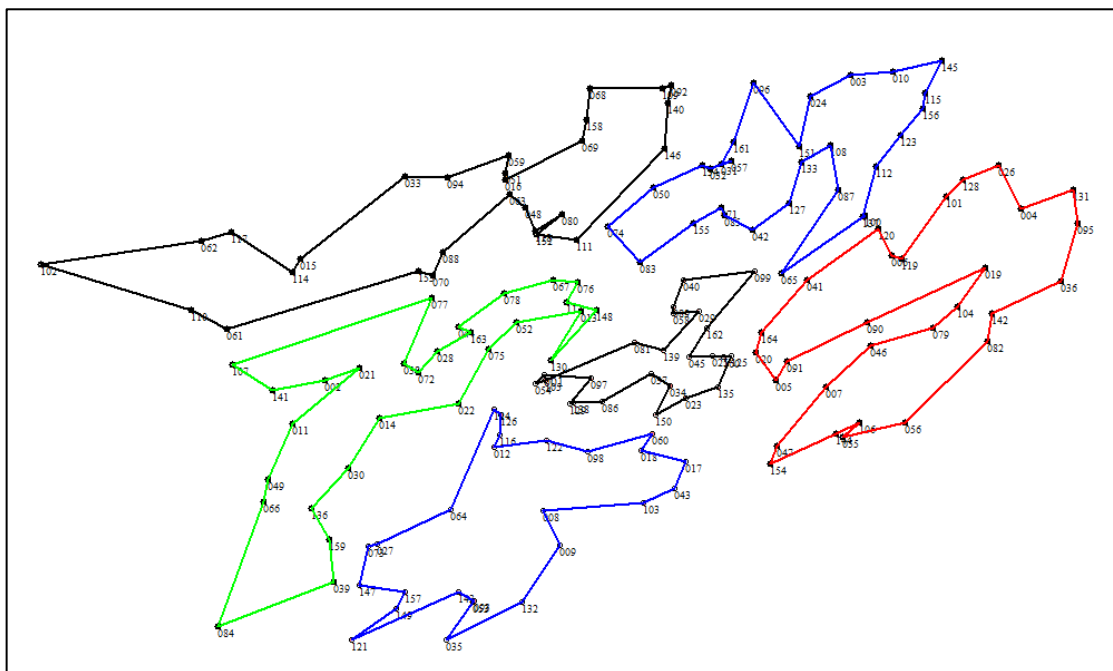
1º turno: 07h00min às 15h00min							2º turno: 15h00min às 23h00min					
1º pelotão				2º pelotão			1º pelotão		2º pelotão			
M008	M079	M097	M137	M032	M072	M016	M008	M139	M046	VTR072	M133	M063
8	4	1	6	3	2	15		1	4	2	3	15
98	131	54	119	10	21	88	9	54	131	107	10	153
150	95	124	26	108	38	153	132	124	95	141	145	70
23	36	126	128	133	72	70	35	126	19	11	115	88
135	142	116	101	151	28	118	53	129	104	49	156	48
60	82	12	120	71	44	152	93	138	79	66	123	118
18	56	122	100	85	77	80	143	86	142	84	112	152
17	106	129	137	155	78	48	157	37	36	39	87	80
43	55	138	87	83	163	63	149	34	82	159	137	111
103	144	86	112	148	75	16	121	23	56	136	100	74
9	154	37	123	13	52	51	147	135	106	30	120	146
132	47	34	156	76	113	69	73	125	55	14	65	140
35	7	25	115	67	130	158	27	160	144	72	42	92
53	5	45	145	111	22	109	64	25	154	38	127	109
93	91	139	127	74	14	92	12	45	47	28	133	68
143	90	162	42	50	30	68	116	139	7	44	108	158
157	46	29	99	134	136	59	122	162	46	163	151	69
149	79	40	65	32	159	94	98	29	90	52	71	63
121	104	89	41	31	39	33	150	99	5	75	85	16
147	19	58	164	57	84	117	60	40	91	22	155	51
73		81	160	161	66	62	18	89	20	130	83	59
27		97	125	146	49	102	17	58	164	148	50	94
64		105	20	140	11	110	43	81	41	13	134	33
				96	141	61	103	97	6	113	32	117
				24	107	114		105	119	76	31	62
									101	67	57	102
									128	78	161	110
									26	77	96	61
									114	21	24	114

Continuação anexo A – roteamento por colégios/viatura

Roteamento heurística, colégios/viaturas, agrupamento Pelotão BPEC - 1º turno.



Roteamento heurística, colégios/viaturas, agrupamento Pelotão BPEC - 2º turno.



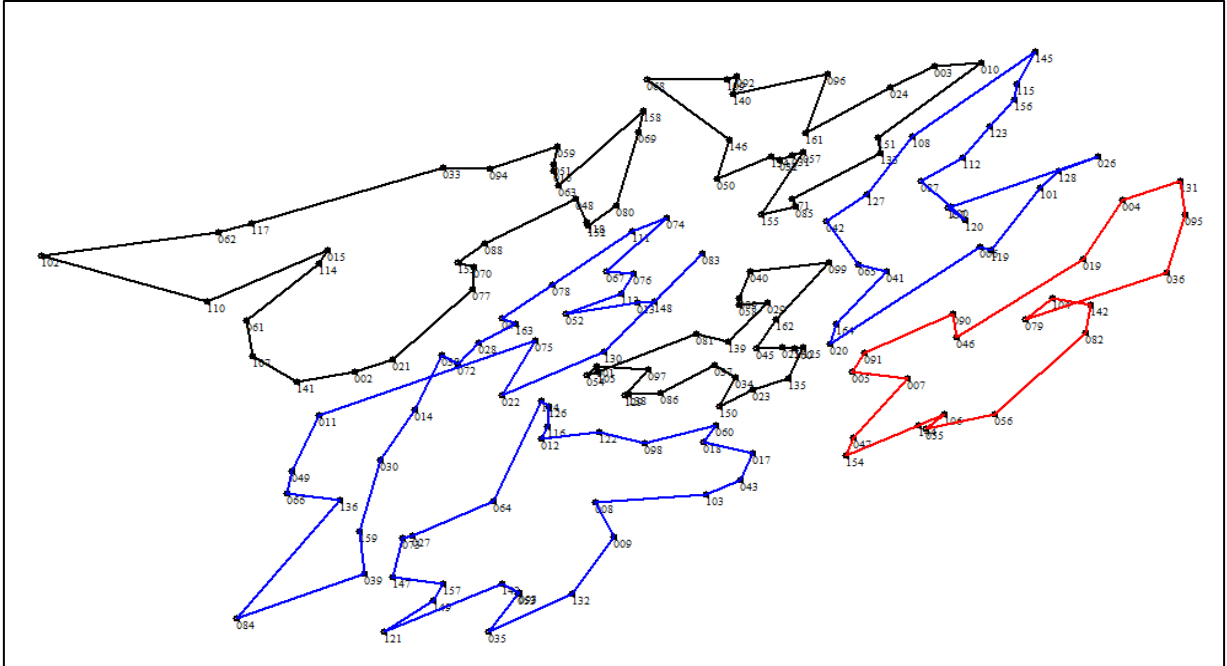
Continuação anexo A – roteamento por colégios/viatura

Roteamento heurística, colégios/viaturas, agrupamento Pelotão BPEC.

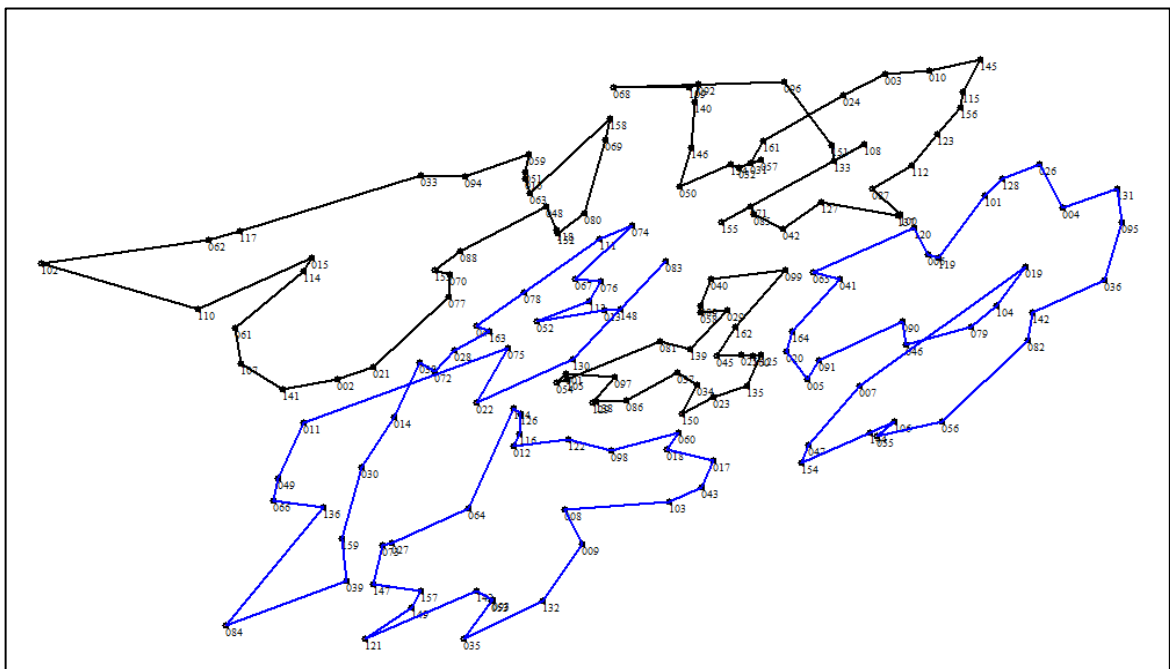
1º turno: 07h00min às 15h00min							2º turno: 15h00min às 23h00min					
1º pelotão				2º pelotão			1º pelotão		2º pelotão			
M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	T1	T2	T3	T4	T5	T6
34	46	121	87	51	134	11	34	121	88	108	7	38
150	90	149	112	59	161	141	150	149	70	87	47	77
23	91	157	123	94	24	2	23	157	153	65	154	107
135	20	147	156	33	3	21	135	147	61	100	144	141
125	5	73	115	117	10	38	125	73	110	137	106	2
160	7	27	145	62	108	77	160	27	102	112	55	21
25	47	64	127	102	133	78	25	64	62	123	56	11
45	154	116	42	110	151	67	45	124	117	156	82	49
162	144	12	40	15	71	113	162	126	114	115	142	66
139	106	122	89	114	85	130	99	116	15	145	36	84
58	55	98	29	61	155	159	40	12	33	10	95	39
81	56	60	99	107	83	39	89	122	94	3	131	159
105	82	18	65	153	148	84	58	98	59	24	4	136
54	142	17	41	70	13	136	29	60	51	151	26	30
1	36	43	164	88	76	66	139	18	16	96	128	14
124	95	103	6	152	74	49	81	17	69	161	101	22
126	131	8	101	118	111	30	105	43	158	31	119	75
129	4	9	128	48	80	14	54	103	68	57	6	52
97	119	132	26	92	50	22	1	8	109	32	120	13
138	19	35	100	109	146	75	97	9	92	134	41	130
86	104	53	120	68	140	52	129	132	140	50	164	148
37	79	93	137	158	96	163	138	35	146	74	20	113
		143		69	57	44	86	53	111	83	5	76
				63	32	28	37	93	152	155	91	67
				16	31	72		143	80	71	90	78
									118	85	19	44
									48	42	104	163
									63	127	79	28
										133	46	72

Continuação anexo A – roteamento por colégios/viatura

Roteamento heurística, colégios/viaturas, agrupamento UOA - 1º Turno.



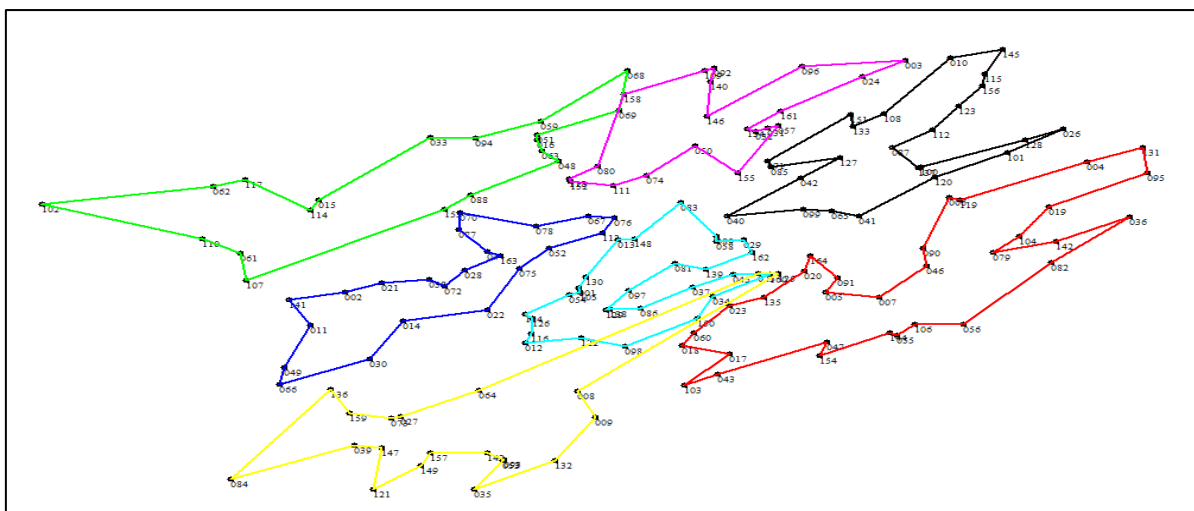
Roteamento heurística, colégios/viaturas, agrupamento UOA - 2º Turno.



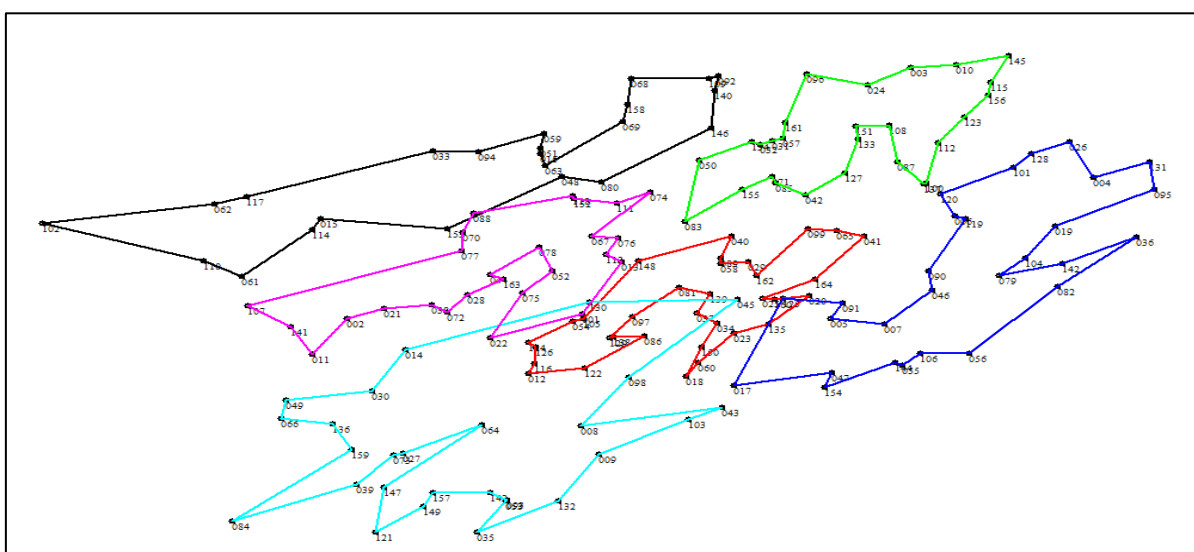
ANEXO B – ROTEAMENTO POR ALUNOS/VIATURA

A seguir apresenta-se as ilustrações dos roteamentos das viaturas segundo a designação de alunos\viaturas assim como as tabelas contendo a sequência de visitas das equipes de serviço em cada setor, onde cada viatura foi denominada com um prefixo genérico.

Roteamento exato, alunos/viaturas, agrupamento Geral BPEC – 1º turno.

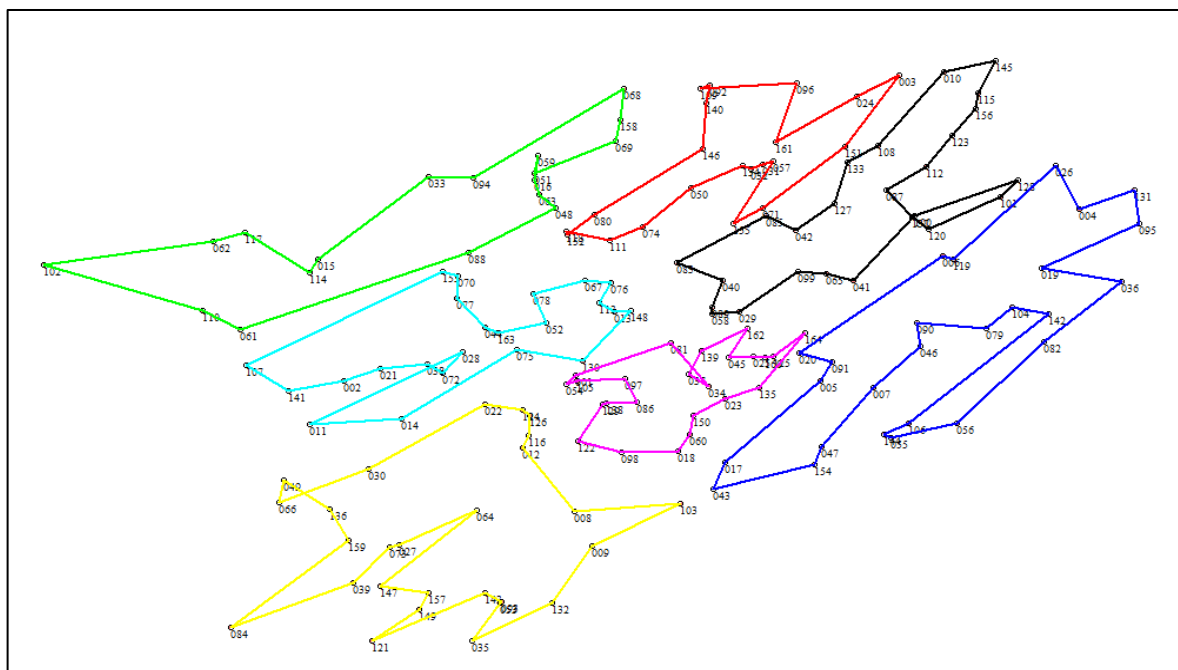


Roteamento exato, alunos/viaturas, agrupamento Geral BPEC – 2º turno.

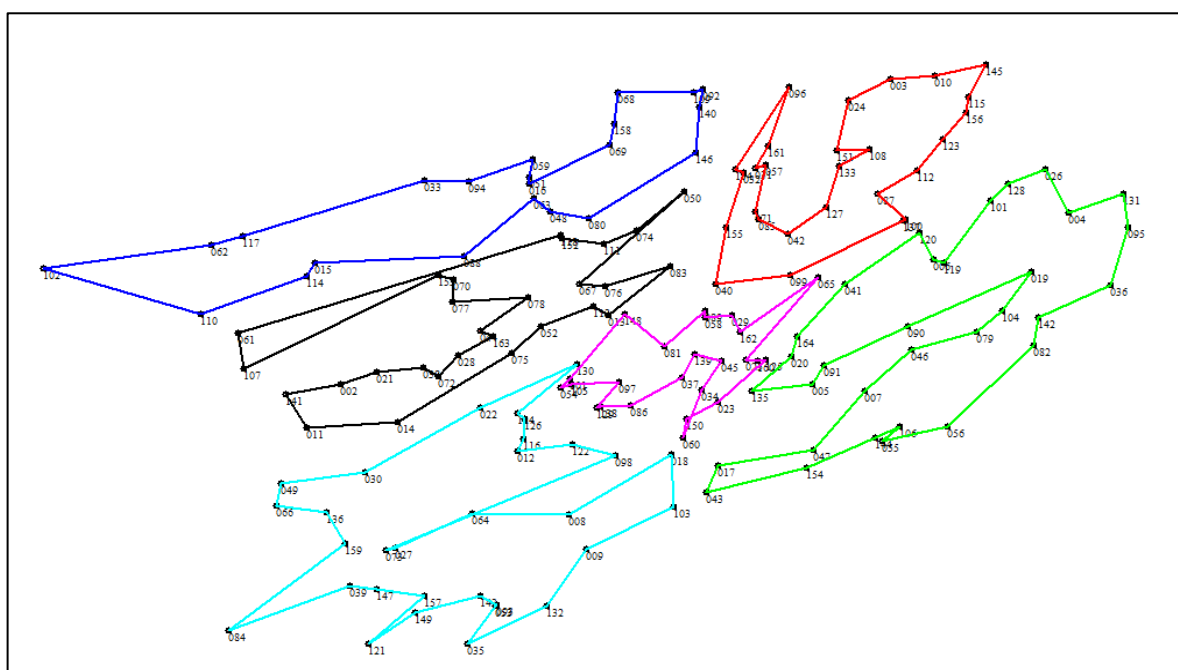


Continuação anexo B – roteamento por alunos/viatura

Roteamento heurístico, alunos/viaturas, agrupamento Geral BPEC – 1º turno.



Roteamento heurístico, alunos/viaturas, agrupamento Geral BPEC – 2º turno.



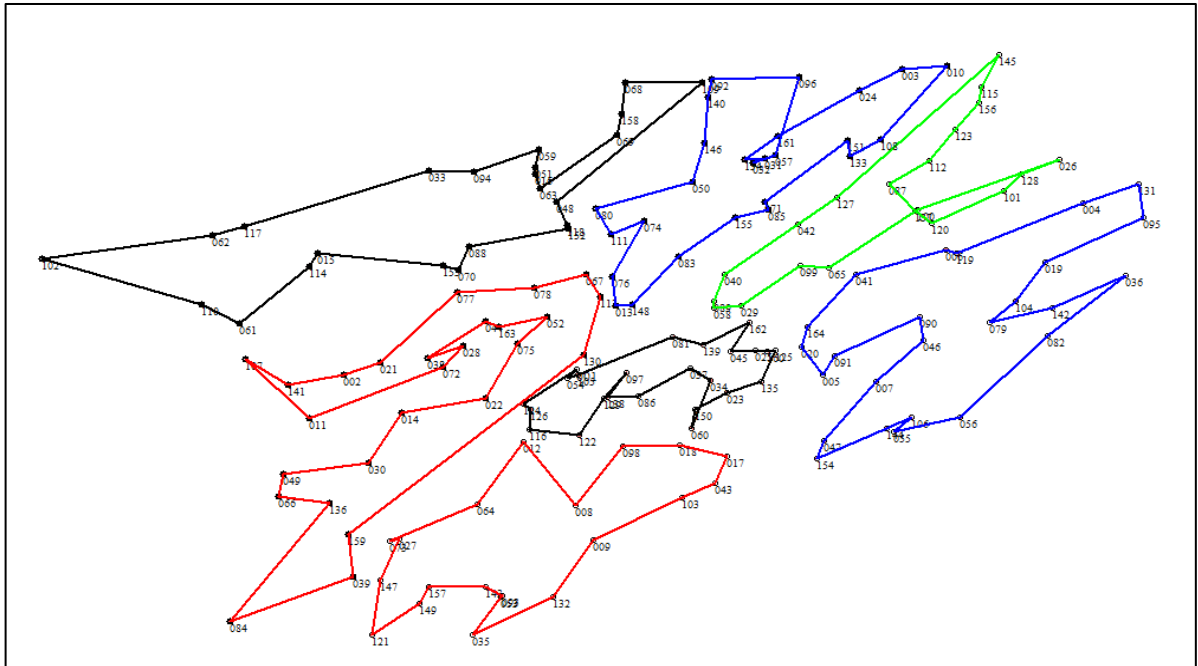
Continuação anexo B – roteamento por alunos/viatura

Roteamento heurístico, alunos/viaturas, agrupamento Geral BPEC.

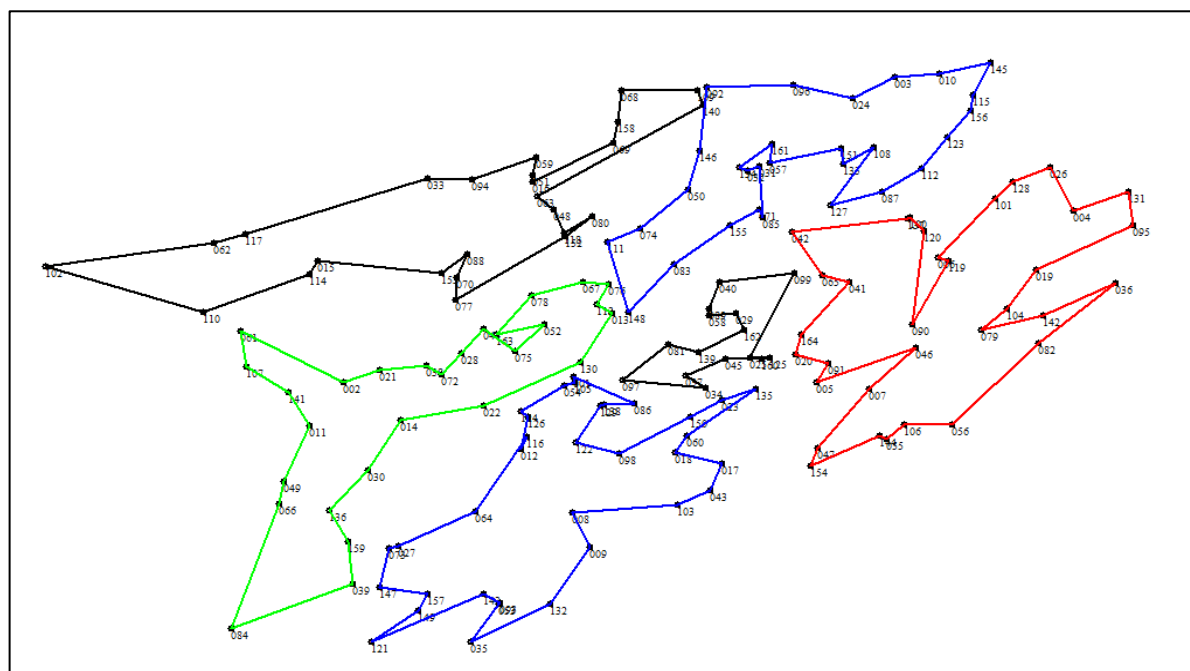
1º turno: 07h00min às 15h00min							2º turno: 15h00min às 23h00min					
M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	T1	T2	T3	T4	T5	T6
87	90	155	63	130	37	149	72	51	108	7	121	139
112	46	71	48	148	139	121	38	59	151	47	149	45
123	7	151	88	13	162	143	21	94	24	17	143	34
156	47	3	61	113	45	93	2	33	3	43	93	60
115	154	24	110	76	25	53	141	117	10	154	53	150
145	43	161	102	67	160	35	11	62	145	144	35	23
10	17	96	62	78	125	132	14	102	115	106	132	125
108	5	109	117	52	164	9	75	110	156	55	9	160
133	91	92	114	163	135	103	52	114	123	56	103	25
127	20	140	15	44	23	8	113	15	112	82	18	65
42	6	146	33	77	150	12	13	88	87	142	8	162
85	119	80	94	70	60	116	83	63	100	36	64	29
83	26	152	68	153	18	126	76	48	137	95	27	58
40	4	118	158	107	98	124	67	80	99	131	73	89
89	131	111	69	141	122	22	50	146	40	4	98	81
58	95	74	51	2	129	30	74	140	155	26	122	148
29	19	50	59	21	138	66	111	92	32	128	12	1
99	36	134	16	38	86	49	152	109	134	101	116	54
65	82	32		72	97	136	118	68	96	119	126	105
41	56	31		28	105	159	61	158	161	6	124	97
100	55	57		11	54	84	107	69	31	120	130	129
128	144			14	1	39	153	16	57	41	22	138
101	106			75	81	73	70		71	164	30	86
120	142				34	27	77		85	20	49	37
137	104					64	78		42	135	66	
	79					147	44		127	5	136	
						157	163		133	91	159	
							28			90	84	
										19	39	
										104	147	
										79	157	
										46		

Continuação anexo B – roteamento por alunos/viatura

Roteamento heurístico, alunos/viaturas, agrupamento Pelotão BPEC – 1º turno.



Roteamento heurístico, alunos/viaturas, agrupamento Pelotão BPEC – 2º turno.



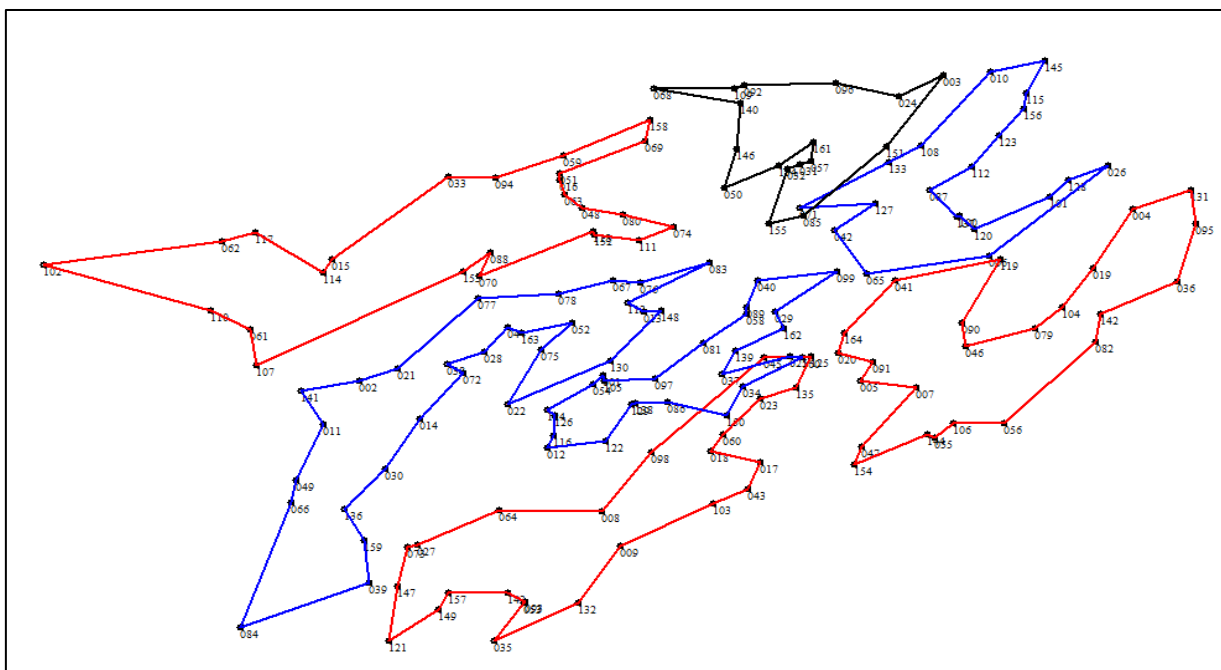
Continuação anexo B – roteamento por alunos\viatura

Roteamento heurístico, alunos/viaturas, agrupamento Pelotão BPEC.

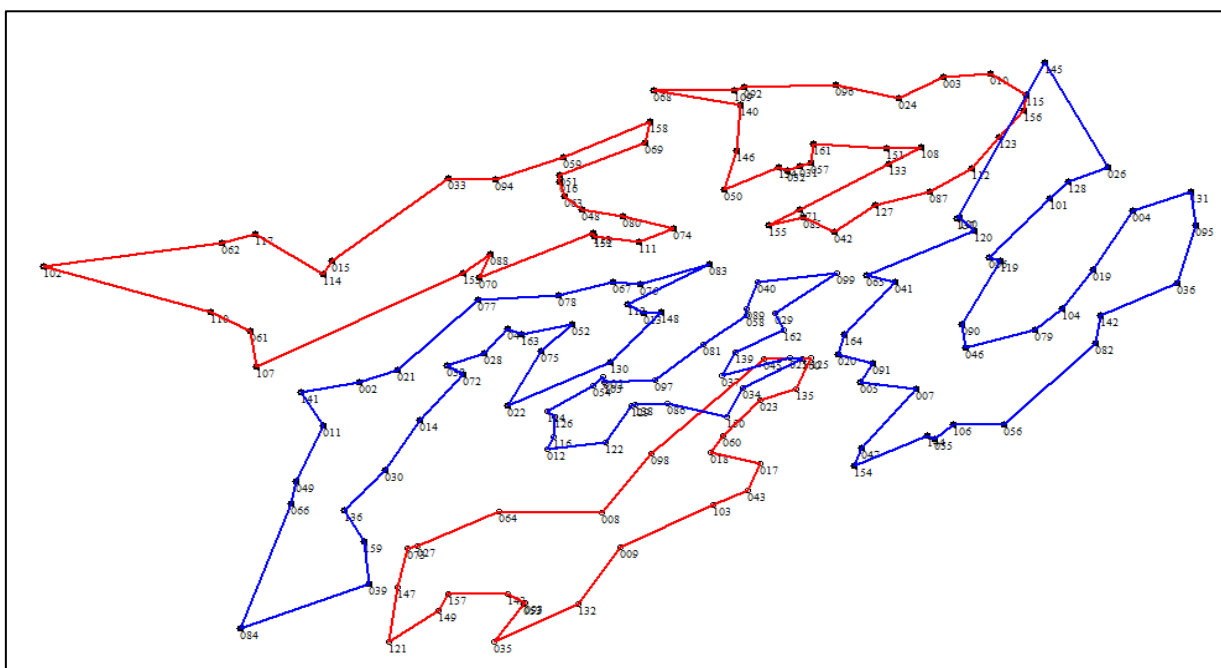
1º turno: 07h00min às 15h00min							2º turno: 15h00min às 23h00min					
1º pelotão				2º pelotão			1º pelotão		2º pelotão			
M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	W1	W2	W1	W2	W3	W4
37	79	143	137	16	31	72	37	143	63	133	46	72
34	142	157	87	51	134	11	34	121	140	108	5	38
60	36	149	112	59	161	107	97	149	109	127	91	21
150	82	121	123	94	24	141	81	157	68	87	20	2
23	56	147	156	33	3	2	139	147	158	112	164	61
135	55	27	115	117	10	21	162	73	69	123	41	107
125	106	73	145	62	108	77	29	27	16	156	65	141
160	144	64	127	102	133	78	58	64	51	115	42	11
25	154	12	42	110	151	67	89	116	59	145	137	49
45	47	8	40	61	71	113	40	12	94	10	100	66
162	7	98	89	114	85	130	99	126	33	3	120	84
139	46	18	58	15	155	159	25	124	117	24	90	39
81	90	17	29	153	83	39	125	54	62	96	119	159
105	91	43	99	70	148	84	160	105	102	92	6	136
54	5	103	65	88	13	136	45	1	110	146	101	30
1	20	9	100	152	76	66	37	86	114	50	128	14
124	164	132	26	118	74	49		138	15	74	26	22
126	41	35	128	48	111	30		129	153	111	4	130
116	6	53	101	109	80	14		122	88	148	131	13
122	119	93	120	68	50	22		98	70	83	95	113
129	4	143	137	158	146	75		150	77	155	19	76
97	131			69	140	52		23	152	71	104	67
138	95			63	92	163		135	80	85	79	78
86	19			16	96	44		60	118	31	142	163
37	104				57	38		18	48	32	36	52
	79				32	28		17	63	134	82	75
					31	72		43		161	56	44
								103		57	106	28
								8		151	55	72
								9		133	144	
								132			154	
								35			47	
								53			7	
								93			46	
								143				

Continuação anexo B – roteamento por alunos/viatura

Roteamento exato, alunos/viaturas, agrupamento UOA – 1º turno.

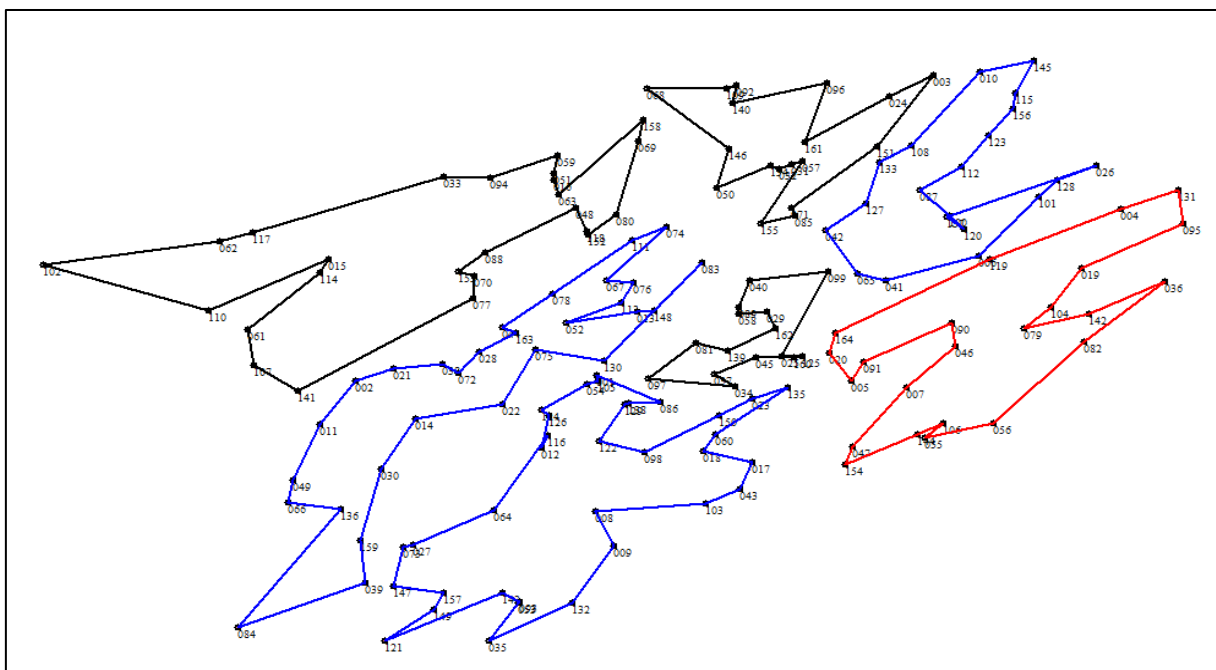


Roteamento exato, alunos/viaturas, agrupamento UOA – 2º turno.

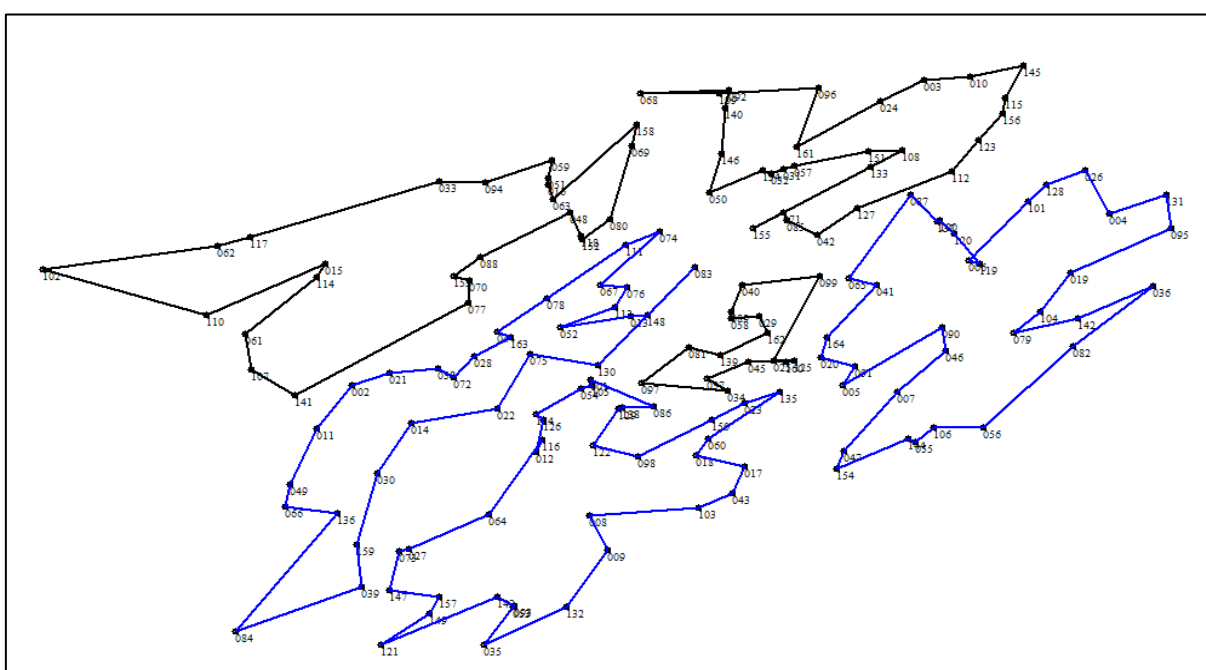


Continuação anexo B – roteamento por alunos/viatura

Roteamento heurístico, alunos/viaturas, agrupamento UOA – 1º turno.



Roteamento heurístico, alunos/viaturas, agrupamento UOA – 2º turno.



Continuação anexo B – roteamento por alunos/viatura

Roteamento heurístico, alunos/viaturas, agrupamento UOA.

1º turno: 07h00min às 15h00min							2º turno: 15h00min às 23h00min					
12º BPM		13º BPM		20º BPM			12º BPM		13º BPM		20º BBPM	
M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	T1	T2	T3	T4	T5	T6
34	121	48	130	57	87	142	34	121	48	130	57	5
97	149	118	83	155	112	36	97	149	118	83	31	91
81	157	152	148	85	123	82	81	157	152	148	32	20
139	147	80	13	71	156	56	139	147	80	13	134	164
162	73	69	52	151	115	55	162	73	69	52	50	41
29	27	158	113	3	145	106	29	27	158	113	146	65
58	64	63	76	24	10	144	58	64	63	76	140	87
89	116	16	67	161	108	154	89	116	16	67	92	137
40	12	51	74	96	133	47	40	12	51	74	68	100
99	126	59	111	140	127	7	99	126	59	111	109	120
25	124	94	78	92	42	46	25	124	94	78	96	119
125	54	33	44	109	65	90	125	54	33	44	161	6
160	105	117	163	68	41	91	160	105	117	163	24	101
45	1	62	28	146	6	5	45	1	62	28	3	128
37	86	102	72	50	101	20	37	86	102	72	10	26
	138	110	38	134	128	164		138	110	38	145	4
	129	15	21	32	26	119		129	15	21	115	131
	122	114	2	31	137	4		122	114	2	156	95
	98	61	11		120	131		98	61	11	123	19
	150	107	49		100	95		150	107	49	112	104
	23	141	66			19		23	141	66	127	79
	135	77	136			104		135	77	136	42	142
	60	70	84			79		60	70	84	85	36
	18	153	39					18	153	39	71	82
	17	88	159					17	88	159	155	56
	43		30					43		30	133	106
	103		14					103		14	108	55
	8		22					8		22	151	144
	9		75					9		75		154
	132							132				47
	35							35				7
	53							53				46
	93							93				90
	143							143				

ANEXO C - RELAÇÃO DOS COLÉGIOS ESTADUAIS DE CURITIBA/PR

Estabelecimentos	Endereço	Número	Bairro
Alcindo Fanaya Jr,C E P/ Surdos-E I F M	Rua Vital Brasil	447	Vila Izabel
Alcyone M.C.Vellozo, C E Prof.-E Fund. Méd.	Av. Governador Carlos Lacerda, Sn	0	Cic
Alfredo Parodi, C E - E Fund. Médio	Rua Espiridiao Kalluf	125	Uberaba
Algacyr M.Maeder, C E Prof.-E Fund. Médio	Rua Sebastiao Alves Ferreira	1164	Bairro Alto
Aline Picheth, E - E Fund.	Rua Euripedes Garces Do Nascimento	921	Ahú De Baixo
Amâncio Moro, C E - E Fund. Méd.	Rua Pres. Washington Luís	620	Jd. Social
Ângelo Gesso, C E - E Fund. Médio	Rua Julio Pedroso De Moraes	10	Boa Vista
Angelo Trevisan, E E - E Fund.	Rua Angelo Trevisan	180	Santa Felicidade
Angelo Volpato, C E - E Fund. E Médio	Rua Joao Valle	23	Santa Felicidade
Anibal Khury Neto, C E - E Fund. Méd.	Rua Avelino Mantovani	430	Uberaba
Arlindo Carvalho De Amorim, C E - E F M	Rua Desembargador Cid Campelo	6301	Cic
Arthur R.De Macedo, E E - E Fund.	Av. Nossa Senhora Aparecida	1743	Seminario
Attico Eusebio Da Rocha, C E Dom -E F M	Av. Presidente Wenceslau Braz	2779	Vila Lindoia
Avelino Antonio Vieira, C E - E Fund. Méd.	Rua Julio Mesquita	12	Fazendinha
Beatriz Faria Ansay, C E - E Fund. Méd.	Rua Francisco Xavier De Oliveira	315	Tatuquara
Benedicto J.Cordeiro, C E-E F M Nor Prof.	Rua Eurico Zykievitz	143	Sítio Cercado
Bento M.Da Rocha Neto, C E - E F M Prof.	Rua Elvira B. Polak	67	Pilarzinho
Bom Pastor, C E - E Fund. Médio	Rua Carlos Razera	445	Merces
Bom Pastor, C E - E Fund. Médio	Rua Jorge Bonn	460	Vila Tingui
Brandao, C E Prof. - E Fund. E Médio	Av. Joao Gualberto	953	Alto Da Gloria
Brasilio V De Castro, C E Prof-E F M Pr	Rua Santa Angela De Foligno	45	Cic
Candido Rondon, C E Mal - E Fund. Médio	Rua Ricardo Negrao Filho	287	Portao
Carola, E E Dona - E Fund.	Rua Solimoes	290	Sao Francisco
Carrao, C E Cons - E Fund. Médio	Rua Dr. Simao Kossobudski	151	Uberaba
Cead Polo Potty Lazarotto - E Fund Medio	Rua Sao Francisco	34	Centro
Cecilia Meireles, C E - E Fund. Médio	Rua Pedro Eloy De Souza	1700	Taruma
Ceebja Campo Comprido - E Fund. Médio	Rua Eduardo Sprada	3910	Campo Comprido
Ceebja Cic - E Fund. Médio	Rua Pedro Gusso	1259	Capao Raso
Ceebja Paulo Freire - E Fund. Médio	Rua Almirante Goncalves	1423	Reboucas
Ceebja Profa.Lais Miquelotto-E Fund. Me	Rua Antonio Reinaldo Zanon	175	Cic
Ceebja Profa.Maria Deon De Lira-E F M	Av. Mal. Floriano Peixoto	7719	Boqueirao
Centro Est.Educ.Prof.De Curitiba	Rua Frederico Maurer	3015	Boqueirao
Claudio Morelli, C E Pe - E Fund. Médio	Rua Luiz Nichele	8	Umbara
Cleto, C E Prof. - E Fund. Médio	Rua Visconde De Nacar	544	Centro
Colbacchini, E E Pe - E Fund.	Rua Caetano Alessi	30	Butiatuvinha
Cruzeiro Do Sul, C E - E Fund. Méd.	Rua Do Buda	8	Santa Candida
Dezenove De Dezembro, C E - E Fund. Médio	Rua Desembargador Motta	2082	Centro
Dirce C.Do Amaral, C E Prof.-E F Méd. Prof.	Rua Pedro Gusso	2020	Cic
Domingos Zanlorenzi, C E -E Fund. Méd. Pro	Rua Padre Paulo Warkocz, Sn	0	Jd. Gabinete
Doracy Cezarino, E E - E Fund.	Rua Eugenio Parolin	588	Vila Parolin
Elias Abrahao, C E Prof. - E Fund. Médio	Av. Senador Souza Naves	1221	Cristo Rei
Elysio Vianna, E E - E Fund.	Av. Senador Salgado Filho	1320	Guabirotuba
Emiliano Pernet, E E - E Fund.	Rua Jornalista Geraldo Russe	275	Pilarzinho
Emilio De Menezes, C E - E Fund. Médio	Rua Jose Zaleski	450	Capao Raso
Erasmus Pilotto,Ins Ed Do Pr Prof-E F Mn	Rua Emiliano Pernet	92	Centro
Ermelino De Leao, E E - E Fund.	Av. Nossa Senhora De Nazare	900	Boa Vista
Ernani Vidal, E E - E Fund.	Rua Mateus Leme	3291	Sao Lourenco

Continuação- relação dos colégios estaduais de Curitiba/PR

Estabelecimentos	Endereço	Número	Bairro
Etelvina C.Ribas, C E Profa-E Fund. Méd.	Rua Miguel Raicoski Sobrinho, Sn	0	Pinheirinho
Eurides Brandao, C E - E Fund. Méd.	Rua Jair Coelho,	260	Cic
Euzebio Da Mota, C E - E Fund. Médio	Rua Clara Tedesco	2773	Boqueirao
Flavio F. Da Luz, C E - E Fund. Méd.	Rua Joao Cislinski, Sn	0	Sítio Cercado
Francisco A.Macedo, C E Dr-E Fund. Médio	Travessa Augusto Marach	224	Novo Mundo
Francisco Zardo, C E Prof.-E Fund. Méd. Pro	Av. Manoel Ribas	7149	Santa Felicidade
Gabriela Mistral, C E - E Fund. Médio	Rua Tabajaras	840	Vila Izabel
Gelvira Correa Pacheco, C E-E Fun Méd.	Rua Carmelina Cavassin	385	Barreirinha
Getulio Vargas, C E - E Fund_Medio	Rua Emilia Maria Uba	325	Vila Leonice
Gottlieb Mueller, C E - E Fund Med	Rua Bom Jesus De Iguape	3333	Boqueirao
Guaira, C E - E Fund. Médio	Rua Lamenha Lins	1962	Reboucas
Guido Arzua, C E - Ens Fund. Méd.	Rua Mandirituba	0	Sítio Cercado
Guido Straube, C E Prof. -E Fund. Méd. Prof.	Rua Jacarezinho	1680	Merces
Guilherme A.Maranhao, C E Des-E Fund. Méd.	Rua Jose Angelo Martins	101	Tatuquara
Guilherme Pereira Neto, E E - E Fund.	Rua Delegado Bruno De Almeida	4386	Campo De Santana
Hasdrubal Bellegard, C E - E Fund Medio	Rua Izaac Ferreira Da Cruz	3009	Sítio Cercado
Helena Dionysio, E E - E Fund.	Rua Francisco Juglair	4	Mossungue
Hildebrando De Araujo, C E-Ef Méd. Prof.	Av. Prefeito Omar Sabbag	721	Jd. Botanico
Hildegard Sondahl, C E Profa-E Fund Med	Rua Joaquim De Siqueira Cortes	62	Cic
Homero B.De Barros, C E - E F Médio Prof.	Rua Fernandes Vieira	17	Capao Raso
Iara Bergmann, C E Profa - E Fund. Médio	Rua Reinaldo De Carvalho Bola	101	Vila Osternack
Inez Vicente Borocz, C E - E Fund. Méd.	Rua Ignez De Lourdes G. De Macedo, Sn	0	Sítio Cercado
Isabel L.S.Souza, C E Profa - E Fund. Méd.	Rua Izaac Ferreira Da Cruz, Sn	0	Pinheirinho
Isolda Schmid, E E - E Fund.	Rua Anne Frank	1441	Vila Hauer
Ivo Leao, C E - E Fund. Médio	Rua Nossa Senhora Da Cabeça	1183	Cic
Ivo Zanlorenzi, E E Monsenhor - E Fund.	Rua Eduardo Sprada	4114	Campo Comprido
Jayme Canet, C E - E Fund. Médio	Rua Ana Aparecida L. Canet, Sn	0	Xaxim
Joao Bettega, C E - E Fund. Médio	Rua Visconde Do Cerro Frio, Sn	0	Novo Mundo
Joao De Oliveira Franco, C E-E Fund. Méd.	Rua Padre Manuel Da Nobrega	1489	Vila Fanny
Joao Loyola, C E Prof. - E Fund. Médio	Rua Mario Gomes Cesar	580	Pinheirinho
Joao Mazzarotto, C E - E Fund. E Médio	Rua Santa Regina	664	Capao Raso
Joao Paulo I, C E Papa - E Fund. Médio	Rua Maria Geronasso Do Rosario	259	Boa Vista
Joao Paulo li, C E - E Fund. Médio	Rua Joao Barbosa De Almeida	513	Xaxim
Joao Turin, C E - E Fund_Medio	Rua Almirante Goncalves	2880	Agua Verde
Joao Wislinski, E E Pe - E Fund.	Rua Francis Bacon	7	Santa Candida
Jose Busnardo, C E - E Fund. Médio	Rua Major Vicente De Castro	1154	Vila Fanny
Jose Fressato, C E - E Fund. Médio	Rua Nova Londrina	30	Vila Augusta
Jose Guimaraes, C E Prof. - E Médio Prof.	Rua Presidente Padua Fleury	418	Vila Hauer
Julia Wanderley, C E - E Fund. Médio Prof.	Av. Vicente Machado	1643	Batel
Julio Mesquita, C E Prof. - E Fund. Médio	Rua Maria Theodora De Paula Costa	49	Jd. Das Americas
La Salle, C E - E Fund. Méd.	Rua Dilermando Pereira De Almeida	120	Pinheirinho
Lamenha Lins, C E Pres - Ens Méd. Prof.	Rua Lamenha Lins	2185	Reboucas
Leoncio Correia, C E - E F Médio E Prof.	Rua Costa Rica	233	Bacacheri
Loureiro Fernandes, C E Prof.-E F Méd. Pro	Rua Marechal Mallet	540	Ahu De Baixo
Lucia Bastos, Col Est - Ens Fun E Médio	Rua Coronel Americo Walger	12	Alto Boqueirao
Lucy Requiao De M. Silva, E E Educ Espec	Avenida Manoel Ribas	7119	
Luiz Carlos De P. E Souza, C E P-Ef Mpr	Rua Albert Sabin	300	Umbara

Continuação- relação dos colégios estaduais de Curitiba/PR

Estabelecimento	Endereço	Número	Bairro
Luiz Losso Filho, Ceebja Dr - E Funmed	Rua Joao Batista Scucato	80	Atuba
Luiza Ross, C E Profa - E Fund. Médio	Rua Maestro Carlos Frank	616	Boqueirao
Lysimaco F.Costa, C E Prof.-E Fund. Médio	Av. Iguacu	3012	Agua Verde
Manoel A.Guimaraes, C E Sen - E Fund. Méd.	Av. Candido Hartmann	1650	Merces
Manoel Ribas, C E - E Fund. Médio	Rua Guabirota	600	Prado Velho
Maria A.Teixeira, C E Pf-E Fund. Méd. Prof.	Av. Presidente Affonso Camargo	3463	Capao Da Imbuia
Maria Balbina Costa Dias,C E Profa-Ef Em	Rua Konrad Adenauer	668	Taruma
Maria Gai Grendel, C E Profa -E Fund. Méd.	Rua Delegado Bruno De Almeida	320	Cachimba
Maria Heloisa Casselli, E E Profa-E Fund.	Rua Catharina Potina De Mauro	80	Pilarzinho
Maria Montessori, C E - E Fund. Médio	Rua Guilherme Ihlenfeldt	980	Vila Tingui
Maria Nicolas, E E Prof. - E Fund.	Rua Tamoios	777	Vila Izabel
Maria P.Martins, E E - E Fund.	Av. Anita Garibaldi	5340	Barreirinha
Marli Queiroz Azevedo, C E - E Fund. Méd.	Rua Cyro Correia Pereira	3506	Cic
Maximo Atilio Asinelli, C E Prof. - E F M	Rua Julio Wischral	650	Uberaba
Milton Carneiro, C E - E Fund. Médio	Rua Capitaio Roberto Lopes Quintas, Sn	0	Alto Boqueirao
Moradias Monteiro Lobato, C E-E Fund. Méd.	Rua Olivio Jose Rosseti	430	Tatuquara
Narciso Mendes, C E Prof. - E Fund. Médio	Rua Professor Narciso Mendes,	283	Xaxim
Natalia Reginato, C E- E Fund. Médio Prof.	Rua Goiania	679	Vila Oficinas
Newton F.Da Costa, C E - E Fund. Méd.	Rua Americo Vespucio	745	Vila Lindoia
Newton Stadler De Souza, Ce Prof. - E F M	Rua Delegado Bruno De Almeida	320	Caximba
Nilo Brandao, C E Prof. - E Fund. Médio	Av.Jornalista Aderbal G.Stresser	748	Cajuru
Nilson Baptista Ribas, C E - E Fund. Méd.	Rua Jaime Veiga	472	Jd. Los Angeles
Nirlei Medeiros, C E - Ens Fund. Méd.	Rua Antonio Bertholdi	409	Campo Santana
Nossa Sra Aparecida, C E - E Fund. Médio	Rua Jose Osires Baglioli	430	Xaxim
Nossa Sra Da Salete, E E - E Fund.	Rua Lange De Morretes	94	Jd. Social
Nossa Sra De Fatima, E E - E Fund.	Rua Suecia	197	Taruma
Olavo Del Claro, C E Prof. - E Fund. Méd.	Rua Clara Filla	282	Sao Braz
Olimpio De Souza, C E Pe - E Fund. Médio	Alameda Princesa Izabel	3191	Campina Siqueira
Olivio Belich, C E Dep - E Fund. Médio	Rua Engenheiro Costa Barros	1600	Vila Camargo
Orione, E E Dom - E Fund.	Rua Professor Fabio De Souza	1150	Santa Quiteria
Parana, C E Do - Ens Fund. Méd. Profis	Av. Joao Gualberto	250	Centro
Paula Gomes, C E - E Fund. Médio	Rua Curupis	903	Santa Quiteria
Paulina P.Borsari, C E - E Fund. Médio	Rua Dr.Joaquim I.Silveira Da Motta	484	Guabirota
Paulo Leminski, C E-E Fund. Méd. Nor Prof.	Rua Coronel Augusto De Almeida Garret	135	Taruma
Pedro li, E E Dom - E Fund.	Av. Bispo Dom Jose	2567	Seminario
Pedro Macedo, C E - E Fund. Médio Prof.	Av. Republica Argentina	2376	Portao
Pilar Maturana, C E - E Fund. E Médio	Rua Rio Guapore	1689	Bairro Alto
Pinheiro Do Parana, C E -E Fund. Méd. Prof.	Rua Daniel Cesario Pereira	559	Santa Felicidade
Pio Lanteri, C E - E Fund. Médio	Rua Dr.Euzebio De Oliveira	71	Uberaba
Polivalente De Curitiba, C E - E Fun Méd.	Rua Salvador Ferrante	1664	Boqueirao
Prieto Martinez, C E - E Fund. Médio	Rua Nilo Pecanha	557	Bom Retiro
Protasio De Carvalho, C E - E Fund. Médio	Rua Cidade Gaucha	120	Cic
Republica Oriental Do Uruguai, E E - E F	Av. Presidente Affonso Camargo	3407	Cajuru
Rio Branco, C E - E Médio Prof.	Rua Bispo Dom Jose	2426	Seminario
Rio Branco, C E Bar Do - Ens Fund. Méd.	Rua Brigadeiro Franco	2532	Centro
Roberto Langer Junior, C E-E Fund. Médio	Rua Albino Frederico Foerster	4	Boqueirao
Rodolpho Zaninelli, C E - E F Médio Prof.	Rua Antonia Molina Bella	1000	Cic

Continuação- relação dos colégios estaduais de Curitiba/PR

Santa Candida, C E - E Fund. Médio Prof.	Rua Theodoro Makiolka	155	Santa Candida
Santa Felicidade, C E - E Fund. Médio	Rua Bortolo Paulin	227	Santa Felicidade
Santa Gemma Galgani, C E - E Fund. Médio	Rua Assis Brasil, Sn	0	Abranches
Santa Rosa, C E - E Fund. Médio	Rua Joao Tobias De Paiva Neto	515	Cajuru
Santo Agostinho, C E - E Fund. Médio	Rua Cascavel	1610	Boqueirao
Santo Antonio, E E - E Fund.	Rua Amadeu Piotto	37	Campo Comprido
Santos Dumont, C E - E Fund. Médio Prof.	Rua Rio Grande Do Sul	1800	Vila Guaira
Sao Braz, C E - E Fund. E Médio	Av. Vereador Toaldo Tulio	2880	Sao Braz
Sao Francisco De Assis, E E - E Fund.	Rua Desemb. Vieira Cavalcanti	985	Merces
Sao Paulo Apostolo, C E - E Fund. Médio	Rua Cel. Jose Carvalho De Oliveira	1275	Uberaba
Sao Pedro Apostolo, C E-E Fund. Méd. Prof.	Rua Primeiro De Maio	1160	Xaxim
Sao Sebastiao, E E - E Fund.	Rua Nicola Pellanda	99	Umbara
Sebastiao Saporski, C E - E Fund Medio	Rua Prosdocimo Lago	290	Taboao
Segismundo Falarz, C E - E Fund Medio	Rua Isaias Regis De Miranda	848	Vila Hauer
Senhorinha M.Sarmiento, C E - E Fund Med	Rua Catulo Da Paixao Cearense	1000	Cajuru
Silvestre Kandora, C E Pe-E Fund Med Pro	Rua Profa. Maria Helena K. Bredow	26	Sao Braz
Teobaldo L.Kletemberg, C E Pr-E Fund Med	Rua Mario Gasparin	950	Sitio Cercado
Teotonio Vilela, C E - E Fund Med	Rua Robert Redzinski	1000	Cic
Tiradentes, C E - E Fund Medio	Rua Presidente Faria	625	Centro
Victor Do Amaral, C E Prof - E F M Prof	Rua Bom Jesus De Iguape	4065	Boqueirao
Xavier Da Silva, C E Dr - E F Medio	Av. Silva Jardim	613	Reboucas
Yvone Pimentel, C E - E Fund Medio	Rua Sebastiao Malucelli	1312	Novo Mundo
Zacarias, C E Cons - E Fund Medio	Rua Ubaldino Do Amaral	401	Alto Da Gloria

ANEXO D – COORDENADAS CARTESIANAS DOS COLÉGIOS

Estabelecimentos	Coordenadas Cartesianas			OPM
	X	Y	Z	
Cead Polo Potty Lazarotto - E Fund Medio	608.0113	677.8492	220.3716	12º BPM
Parana C E Do - Ens Fund Med Profis	611.3796	677.9494	215.5887	12º BPM
Ceebja Paulo Freire - E Fund Medio	605.6353	667.9347	239.4264	12º BPM
Erasmus Pilottoins Ed Do Pr Prof-E F Mn	603.7320	678.1596	225.7490	12º BPM
Ceebja Campo Comprido - E Fund Medio	547.0788	720.2796	236.2615	12º BPM
Francisco Zardo C E Prof-E Fund Med Pro	564.5471	733.3222	191.4988	12º BPM
Xavier Da Silva C E Dr - E F Medio	606.9641	671.5116	231.9071	12º BPM
Santo Antonio E E - E Fund	543.8328	729.5551	225.9130	12º BPM
Julia Wanderley C E - E Fund Medio Prof	587.9472	688.2870	231.2596	12º BPM
Rio Branco C E - E Medio Prof	582.8054	688.3596	238.1927	12º BPM
Lamenha Lins C E Pres - Ens Med Prof	600.9878	666.9178	247.4176	12º BPM
Paula Gomes C E - E Fund Medio	569.5511	691.0811	252.0160	12º BPM
Silvestre Kandora C E Pe-E Fund Med Pro	552.2292	731.1451	211.8700	12º BPM
Guaira C E - E Fund Medio	600.8396	668.2357	245.5227	12º BPM
Santa Felicidade C E - E Fund Medio	561.9284	731.1271	198.5981	12º BPM
Pinheiro Do Parana C E -E Fund Med Prof	573.3182	733.4991	179.1755	12º BPM
Manoel A.Guimaraes C E Sen - E Fund Med	585.2610	699.5227	217.0311	12º BPM
Bom Pastor C E - E Fund Medio	595.1074	699.3301	203.8265	12º BPM
Angelo Volpato C E - E Fund E Medio	580.3021	720.5814	190.2257	12º BPM
Orione E E Dom - E Fund	568.4627	689.8710	255.4333	12º BPM
Doracy Cezarino E E - E Fund	602.6842	660.7278	254.9443	12º BPM
Pedro li E E Dom - E Fund	582.0532	688.5863	238.8623	12º BPM
Tiradentes C E - E Fund Medio	609.9574	678.2465	217.0672	12º BPM
Prieto Martinez C E - E Fund Medio	609.0265	684.9989	207.5787	12º BPM
Rio Branco C E Bar Do - Ens Fund Med	599.0044	676.5141	234.8554	12º BPM
Sao Braz C E - E Fund E Medio	550.5192	735.0263	208.0178	12º BPM
Ivo Zanlorenzi E E Monsenhor - E Fund	545.5842	720.8679	237.3702	12º BPM
Cleto C E Prof - E Fund Medio	600.2629	684.7604	219.9881	12º BPM
Manoel Ribas C E - E Fund Medio	615.7258	658.7751	240.1711	12º BPM
Nilson Baptista Ribas C E - E Fund Med	569.4617	695.6864	244.8030	12º BPM
Dezenove De Dezembro C E - E Fund Medio	596.8046	681.8819	229.3200	12º BPM
Carola E E Dona - E Fund	603.1502	687.4851	211.6810	12º BPM
Maria Nicolas E E Prof - E Fund	577.6173	683.4125	253.1801	12º BPM
Olavo Del Claro C E Prof - E Fund Med	542.4817	741.9974	207.9039	12º BPM
Olimpio De Souza C E Pe - E Fund Medio	577.9557	696.9809	231.1012	12º BPM
Guido Straube C E Prof -E Fund Med Prof	597.0433	695.5897	207.1368	12º BPM
Colbacchini E E Pe - E Fund	559.5686	742.0217	184.4297	12º BPM
Angelo Trevisan E E - E Fund	577.2238	712.8114	206.8561	12º BPM
Gabriela Mistral C E - E Fund Medio	575.7621	684.0661	254.6804	12º BPM
Alcindo Fanaya Jrc E P/ Surdos-E I F M	577.4016	682.0781	255.6000	12º BPM
Helena Dionysio E E - E Fund	560.5482	712.6630	229.9563	12º BPM
Sao Francisco De Assis E E - E Fund	597.7689	691.2486	213.0651	12º BPM
Lucy Requiiao De M. Silva E E Educ Espec	564.7641	733.1288	191.5100	12º BPM
Arthur R.De Macedo E E - E Fund	568.3218	698.4488	241.9633	12º BPM

Continuação - coordenadas cartesianas dos colégios.

Estabelecimentos	Coordenadas Cartesianas			OPM
	X	Y	Z	
Ceebja Cic - E Fund Medio	558.1218	676.8859	290.2406	13º BPM
Pedro Macedo C E - E Fund Medio Prof	578.6560	678.7858	259.1229	13º BPM
Sao Pedro Apostolo C E-E Fund Med Prof	576.1171	650.5911	307.4183	13º BPM
Hasdrubal Bellegard C E - E Fund Medio	571.1285	641.3812	328.8503	13º BPM
Guilherme A.Maranhao C E Des-E Fund Med	519.7697	671.8791	350.5367	13º BPM
Jayme Canet C E - E Fund Medio	588.8971	648.7296	292.8986	13º BPM
Benedicto J.Cordeiro C E-E F M Nor Prof	570.3398	638.1160	335.1059	13º BPM
Claudio Morelli C E Pe - E Fund Medio	552.2129	637.4715	360.8580	13º BPM
Brasilio V De Castro C E Prof-E F M Pr	543.8233	680.5763	303.9136	13º BPM
La Salle C E - E Fund Med	558.9893	654.5572	324.5215	13º BPM
Moradias Monteiro Lobato C E-E Fund Med	513.3394	667.6410	366.0155	13º BPM
Nirlei Medeiros C E - Ens Fund Med	520.5617	649.9253	384.2483	13º BPM
Teobaldo L.Kletemberg C E Pr-E Fund Med	585.0529	624.6122	336.4248	13º BPM
Avelino Antonio Vieira C E - E Fund Med	547.6281	692.0600	280.4550	13º BPM
Teotonio Vilela C E - E Fund Med	538.3776	719.3971	249.5793	13º BPM
Rodolpho Zaninelli C E - E F Medio Prof	528.1703	685.5775	317.3378	13º BPM
Eurides Brandao C E - E Fund Med	527.2623	705.8516	286.3464	13º BPM
Emilio De Menezes C E - E Fund Medio	561.9088	671.4170	293.7569	13º BPM
Guido Arzua C E - Ens Fund Med	571.0554	632.6192	342.8438	13º BPM
Protasio De Carvalho C E - E Fund Medio	535.2601	712.3446	265.0792	13º BPM
Inez Vicente Borocz C E - E Fund Med	584.3912	629.3660	329.7916	13º BPM
Joao Loyola C E Prof - E Fund Medio	557.0362	664.8399	310.8647	13º BPM
Luiz Carlos De P. E Souza C E P-Ef Mpr	559.8349	637.8125	349.9232	13º BPM
Arlindo Carvalho De Amorim C E - E F M	531.8492	693.2712	300.0893	13º BPM
Hildegard Sondahl C E Profa-E Fund Med	526.4558	710.7646	279.6300	13º BPM
Flavio F. Da Luz C E - E Fund Med	570.4106	636.6279	337.3688	13º BPM
Marli Queiroz Azevedo C E - E Fund Med	520.9361	679.8641	336.2776	13º BPM
Ivo Leao C E - E Fund Medio	554.6268	681.5384	287.6214	13º BPM
Lysimaco F.Costa C E Prof-E Fund Medio	586.0109	682.9992	242.3384	13º BPM
Etelvina C.Ribas C E Profa-E Fund Med	574.0889	644.3491	320.0980	13º BPM
Bento M.Da Rocha Neto C E - E F M Prof	603.0507	701.8772	188.8525	13º BPM
Domingos Zanlorenzi C E -E Fund Med Pro	539.1535	728.9647	233.2632	13º BPM
Yvone Pimentel C E - E Fund Medio	564.2045	672.5142	288.8740	13º BPM
Joao Paulo li C E - E Fund Medio	580.7963	645.9171	308.4431	13º BPM
Beatriz Faria Ansay C E - E Fund Med	533.0831	655.9110	357.7129	13º BPM
Dirce C.Do Amaral C E Prof-E F Med Prof	552.0245	679.6126	294.2402	13º BPM
Alcyone M.C.Vellozo C E Prof-E Fund Med	537.6709	683.4554	307.7405	13º BPM
Nossa Sra Aparecida C E - E Fund Medio	575.8943	649.7930	308.9902	13º BPM
Narciso Mendes C E Prof - E Fund Medio	583.3848	651.7138	295.6983	13º BPM
Santos Dumont C E - E Fund Medio Prof	586.9449	667.5534	265.6460	13º BPM
Joao Bettega C E - E Fund Medio	567.3863	676.3247	278.4633	13º BPM
Candido Rondon C E Mal - E Fund Medio	561.9699	688.5883	266.3627	13º BPM
Attico Eusebio Da Rocha C E Dom -E F M	584.0483	667.8619	269.1213	13º BPM
Newton F.Da Costa C E - E Fund Med	581.5236	665.9390	275.6355	13º BPM

Continuação - coordenadas cartesianas dos colégios.

Estabelecimentos	Coordenadas Cartesianas			OPM
	X	Y	Z	
Isabel L.S.Souza C E Profa - E Fund Med	557.2794	659.8946	318.3847	13º BPM
Francisco A.Macedo C E Dr-E Fund Medio	572.4610	670.2578	281.1689	13º BPM
Ceebja Profa.Lais Miquelotto-E Fund Me	541.8104	703.3199	270.4908	13º BPM
Joao Mazzarotto C E - E Fund E Medio	570.2175	663.8863	294.3651	13º BPM
Guilherme Pereira Neto E E - E Fund	515.2472	651.9918	388.2088	13º BPM
Homero B.De Barros C E - E F Medio Prof	579.0939	660.9069	286.9603	13º BPM
Maria Gai Grendel C E Profa -E Fund Med	486.0225	657.3475	419.4600	13º BPM
Emiliano Pernetá E E - E Fund	601.1703	707.8732	181.8610	13º BPM
Joao De Oliveira Franco C E-E Fund Med	583.6009	661.3138	280.1467	13º BPM
Joao Turin C E - E Fund_Medio	593.7712	674.8672	244.6530	13º BPM
Jose Fressato C E - E Fund Medio	518.1494	738.8748	246.2034	13º BPM
Jose Busnardo C E - E Fund Medio	594.8006	656.7447	272.0798	13º BPM
Maria Heloisa Casselli E E Profa-E Fund	595.3807	711.0955	184.6688	13º BPM
Sao Sebastiao E E - E Fund	554.6351	658.7772	323.7690	13º BPM
Newton Stadler De Souza Ce Prof - E F M	531.8216	659.0164	354.5093	13º BPM
Santa Candida C E - E Fund Medio Prof	658.7775	668.3539	165.7305	20º BPM
Ceebja Profa.Maria Deon De Lira-E F M	609.6706	634.7137	286.7325	20º BPM
Paulo Leminski C E-E Fund Med Nor Prof	653.4866	638.0739	221.2915	20º BPM
Centro Est.Educ.Prof.De Curitiba	607.6724	635.6508	287.9797	20º BPM
Leoncio Correia C E - E F Medio E Prof	636.0943	670.4729	193.5586	20º BPM
Iara Bergmann C E Profa - E Fund Medio	585.6551	617.6217	346.6806	20º BPM
Santa Rosa C E - E Fund Medio	649.6667	611.4262	268.9185	20º BPM
Roberto Langer Junior C E-E Fund Medio	599.8683	620.9037	322.0613	20º BPM
Victor Do Amaral C E Prof - E F M Prof	611.8746	629.7637	291.5766	20º BPM
Olvio Belich C E Dep - E Fund Medio	642.2696	628.2560	252.3160	20º BPM
Senhorinha M.Sarmento C E - E Fund Med	646.1847	622.0258	256.8502	20º BPM
Anibal Khury Neto C E - E Fund Med	640.8508	613.8104	277.2189	20º BPM
Cecilia Meireles C E - E Fund Medio	659.9557	634.8089	217.6008	20º BPM
Sao Paulo Apostolo C E - E Fund Medio	623.7529	630.6748	273.8605	20º BPM
Pilar Maturana C E - E Fund E Medio	673.5858	640.3985	189.9477	20º BPM
Algacyr M.Maeder C E Prof-E Fund Medio	663.9898	644.6760	196.3327	20º BPM
Luiza Ross C E Profa - E Fund Medio	615.5291	616.3363	307.8877	20º BPM
Jose Guimaraes C E Prof - E Medio Prof	610.2072	646.1179	267.8740	20º BPM
Branca Do N.Miranda C E Dona-E Fund Med	657.5677	658.1342	183.7069	20º BPM
Republica Oriental Do Uruguai E E - E F	635.2374	646.3714	233.1437	20º BPM
Maria A.Teixeira C E Pf-E Fund Med Prof	635.7215	646.2140	232.7296	20º BPM
Gelvira Correa Pacheco C E-E Fun Med	631.6611	696.2276	158.5348	20º BPM
Hildebrando De Araujo C E-Ef Med Prof	620.4431	659.3788	232.7380	20º BPM
Joao Paulo I C E Papa - E Fund Medio	648.1257	671.7115	175.0332	20º BPM
Natalia Reginato C E- E Fund Medio Prof	637.6824	635.1918	247.5788	20º BPM
Alfredo Parodi C E - E Fund Medio	633.1477	614.5841	286.5464	20º BPM
Santo Agostinho C E - E Fund Medio	599.3310	631.1950	306.4686	20º BPM
Angelo Gusso C E - E Fund Medio	628.5846	684.8466	180.9464	20º BPM
Elias Abrahao C E Prof - E Fund Medio	625.2830	660.8818	223.7009	20º BPM
Nilo Brandao C E Prof - E Fund Medio	646.6066	618.5855	261.7399	20º BPM
Pio Lanteri C E - E Fund Medio	624.0963	634.1997	267.7878	20º BPM
Polivalente De Curitiba C E - E Fun Med	606.2119	634.8075	291.3183	20º BPM

Continuação - coordenadas cartesianas dos colégios.

Estabelecimentos	Coordenadas Cartesianas			OPM
	X	Y	Z	
Lucia Bastos Col Est - Ens Fun E Medio	600.4649	616.7382	327.8507	20º BPM
Nossa Sra De Fatima E E - E Fund	638.0568	649.1533	224.8431	20º BPM
Euzebio Da Mota C E - E Fund Medio	597.3488	639.9020	295.3567	20º BPM
Milton Carneiro C E - E Fund Medio	598.8125	617.6092	328.7281	20º BPM
Isolda Schmid E E - E Fund	609.6445	644.3994	271.3770	20º BPM
Julio Mesquita C E Prof - E Fund Medio	630.8869	640.5775	248.3345	20º BPM
Cruzeiro Do Sul C E - E Fund Med	671.2190	660.9824	160.3644	20º BPM
Brandao C E Prof - E Fund E Medio	615.8735	677.2451	210.5415	20º BPM
Carrao C E Cons - E Fund Medio	625.6978	619.3565	289.1740	20º BPM
Maria Montessori C E - E Fund Medio	652.5680	666.9235	176.5623	20º BPM
Santa Gemma Galgani C E - E Fund Medio	630.4895	695.5141	161.2875	20º BPM
Loureiro Fernandes C E Prof-E F Med Pro	621.4628	679.1567	199.8156	20º BPM
Sebastiao Saporski C E - E Fund Medio	618.4177	702.2959	167.0595	20º BPM
Maximo Atilio Asinelli C E Prof- E F M	629.4560	630.4917	266.3349	20º BPM
Segismundo Falarz C E - E Fund Medio	604.5651	648.0981	272.4548	20º BPM
Ermelino De Leao E E - E Fund	636.7945	675.7426	184.1879	20º BPM
Gottlieb Mueller C E - E Fund Med	611.4746	633.9193	285.5243	20º BPM
Nossa Sra Da Salete E E - E Fund	642.2946	656.0493	208.0345	20º BPM
Paulina P.Borsari C E - E Fund Medio	621.9780	643.5670	255.7973	20º BPM
Amancio Moro C E - E Fund Med	640.4706	655.3461	211.6615	20º BPM
Ernani Vidal E E - E Fund	619.6667	698.1719	171.9306	20º BPM
Getulio Vargas C E - E Fund_Medio	642.9071	693.0726	148.0936	20º BPM
Zacarias C E Cons - E Fund Medio	616.9238	672.5295	216.6169	20º BPM
Maria Balbina Costa Diasc E Profa-Ef Em	650.4458	641.9157	219.3516	20º BPM
Aline Picheth E E - E Fund	619.5356	683.5188	195.5044	20º BPM
Joao Wislinski E E Pe - E Fund	657.8717	674.6712	156.8887	20º BPM
Maria P.Martins E E - E Fund	634.7462	692.9336	159.5525	20º BPM
Luiz Losso Filho Ceebja Dr - E Funmed	674.4033	647.9760	176.7374	20º BPM
Elysio Vianna E E Prof - E Fund_Medio	615.3571	649.5479	255.3611	20º BPM