

FÁBIO LUÍS BRESSLAU

**DISTRIBUIÇÃO DE PRODUTOS LÁCTEOS NO INTERIOR DO ESTADO DE SÃO
PAULO.**

Trabalho de Formatura apresentado à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo
para obtenção do Diploma de Engenheiro de
Produção.

São Paulo

2010

FÁBIO LUÍS BRESSLAU

**DISTRIBUIÇÃO DE PRODUTOS LÁCTEOS NO INTERIOR DO ESTADO DE SÃO
PAULO.**

Trabalho de Formatura apresentado à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo
para obtenção do Diploma de Engenheiro de
Produção.

Orientador: Prof. Livre-Docente
Hugo Tsugunobu Yoshida Yoshizaki

São Paulo

2010

FICHA CATALOGRÁFICA

Bresslau, Fábio Luís

**Distribuição de produtos lácteos no interior do Estado de São Paulo / F.L. Bresslau. -- São Paulo, 2010.
p.**

Trabalho de Formatura - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Produção.

1. Pesquisa operacional 2. Logística 3. Distribuição de mercadorias 4. Roteirização I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Produção II. t.

DEDICATÓRIA

Aos meus pais que lutaram para que mais esse passo fosse possível.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais – Jorge e Clarice – , por sempre apoiarem minhas decisões na jornada até aqui realizada, à dedicação de suas vidas em passarem os valores corretos, sabedorias e criação de oportunidades para que eu me tornasse a pessoa que hoje sou.

Ao professor Hugo Yoshizaki, por me oferecer a grande oportunidade de expandir meus conhecimentos na área de logística e de consultoria e pelo seu apoio durante a minha formação acadêmica.

Ao professor Celso Hino, por compartilhar seus conhecimentos técnicos, pelo suporte e compreensão, imprescindíveis para a conclusão do meu Trabalho de Formatura.

Ao professor Fabiano Stringher, por dividir idéias, experiências e momentos de sua vida, importantes para analisar situações com outros olhos e perspectivas.

Ao professor de matemática Otair, pelas críticas que me obrigaram a buscar resultados sempre melhores e fizeram objetivos impossíveis tornarem-se realidade.

À Patrícia Bohme, amigos e familiares, por compreenderem minhas ausências nos momentos finais anteriores à entrega deste Trabalho.

À tia Stela Battaglia, aos meus irmãos – Fernando e Marina – e ao meu pai, por passarem horas preciosas ajudando na revisão deste trabalho.

RESUMO

Este trabalho identifica a localização e a quantidade de *Transit Points* – e os custos associados – ideais para a rede de distribuição de uma empresa de produtos lácteos, a partir de uma heurística que utiliza o método de decomposição do problema em duas partes - localizar os *Transit Points* e subsequente roteirização da distribuição. Os custos analisados neste trabalho referem-se à transferência dos produtos da fábrica para os *Transit Points*, sua movimentação e armazenagem e, por último, à distribuição dos produtos a partir dos *Transit Points* para os clientes. Os parâmetros utilizados no modelo foram baseados nos dados históricos oferecidos pela empresa. Foi concluído que a utilização de dois *Transit Points*, ao invés de um Centro de Distribuição em Vinhedo e um *Transit Point* em Louveira, gera o maior *saving*, entre os cenários estudados para este estudo, correspondente à R\$ 1.281.180 anuais, além de captar mais de R\$ 1,7 milhão anuais em benefício fiscal.

Palavras-chave: Pesquisa Operacional, Logística, Distribuição de Mercadorias, Roteirização, *Transit Point*

ABSTRACT

This document identifies the ideal location, number and costs, of transit points for a dairy products manufacturer's distribution network, using a 'location first, rout second' heuristic. The analyzed costs refer to the transfer of the products from the factory to the transit points, to the handling and storage and to the distribution of the products from the transit points to the customers. The parameters used in the model were based on historical data offered by the company. It was concluded that the utilization of two transit points, instead of a distribution center located in Vinhedo and a transit point located in Louveira, generates the biggest saving among the scenarios considered for this studied case corresponding to R\$ 1,281,180 and a tax reduction of over R\$ 1.7 million annually.

Keywords: Operations Research, Logistics, Distribution of Goods, Routing, Transit Point

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Distribuição da Empresa X para Região de Campinas e Interior de São Paulo.....	33
Figura 2 – Detalhamento da Região em Estudo	34
Figura 3 – Viagens Realizadas Através da Malha Atual Estudada	35
Figura 5 – Trade-off entre Custo de Transporte e Custo em Vendas Perdidas	40
Figura 6 – Representação da Distância Euclidiana entre os Pontos A e B.....	41
Figura 7 – Representação da Cadeia de Suprimentos do Setor de Produtos Láticos	46
Figura 8 – Elementos do Serviço ao Cliente	48
Figura 9 – Compensações Gerais nos Custos/Receitas em Vários Níveis dos Serviços Logísticos ao Cliente	51
Figura 10 – Custos Totais de uma Rede de Distribuição	52
Figura 11 – Ilustração de um Problema de P-mediana.....	54
Figura 12 – Ilustração de um Problema de VRP	57
Figura 13 – Ilustração de um Problema de MDVRP.....	58
Figura 14 – Ilustração de um Problema de TSP	60
Figura 15 – Fluxo dos Veículos do Modelo Apresentado por Ambrosino et al.....	61
Figura 16 – Ilustração da Agregação Realizada para o Modelo de P-medianas	70
Figura 17 – Visão Geral do Modelo de Localização.....	73
Figura 18 – Detalhe dos Parâmetros de Latitude e Longitude das Medianas e da Função Objetivo	73
Figura 19 – Detalhe das Primeiras Variáveis de Alocação, das Restrições de Atendimento e das Distâncias	73
Figura 20 – Visualização das Primeiras Variáveis de Decisão do Modelo de Transferência ..	78
Figura 21 – Visualização dos Primeiros Custos do Modelo de Transferência.....	79
Figura 22 – Visualização das Primeiras Capacidade Utilizadas do Modelo de Transferência	79
Figura 23 – Visualização dos Parâmetros do Modelo de Transferência	79
Figura 24 – Visualização da Função Objetivo do Modelo de Transferência	79
Figura 25 – Saída do Modelo P-medianas para o Cenário M1.....	81
Figura 26 – Solução Gráfica para o Cenário M1.....	82
Figura 27 – Saída do Modelo P-medianas para o Cenário M2.....	83
Figura 28 – Solução Gráfica para o Cenário M2.....	84
Figura 29 – Saída do Modelo P-medianas para o Cenário M3.....	85

Figura 30 – Solução Gráfica para o Cenário M3.....	86
Figura 31 – Saída do Modelo P-medianas para o Cenário M4.....	87
Figura 32 – Solução Gráfica para o Cenário M4.....	88
Figura 33 – Função Objetivo e Redução da F.O. para os Diferentes Cenários	89
Figura 34 – Histogramas de cada Cenário dos Tempos Processados.....	93
Figura 35 – Solução gráfica para o cenário M2.....	117
Figura 36 – Visualização do modelo de localização	130

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Composição do Custo Logístico nos EUA e no Brasil	39
Gráfico 2 – Custos Anuais de Distribuição	98
Gráfico 3 – Custos de Transferência	104
Gráfico 4 – Custo de Movimentação e Armazenagem Anuais	107
Gráfico 5 – Composição dos Custos Logísticos de cada Cenário	112
Gráfico 6 – Junção dos Custos Logísticos.....	112
Gráfico 7 – Redução do Custo Anual dos Cenários Propostos	113

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Visão Geral dos Dados Primários.....	35
Tabela 2 – Geolocalização da Fábrica	65
Tabela 3 – Geolocalização do CD de Vinhedo.....	66
Tabela 4 – Geolocalização do TP de Louveira.....	66
Tabela 5 – Precisão da Geocodificação Realizada	66
Tabela 6 – Custos e Capacidades dos Veículos Utilizados para Transferência	68
Tabela 7 – Custos e Capacidades dos Veículos Utilizados para Distribuição.....	68
Tabela 8 – Custos associados ao Centro de Distribuição	69
Tabela 9 – Custos Associados aos <i>Transit Points</i>	69
Tabela 10 – Número de Viagens Atendidas pelo TP1.....	82
Tabela 11 – Número de Viagens Alocadas a cada TP no Cenário M2	83
Tabela 12 – Número de Viagens alocadas a cada TP no Cenário M3.....	85
Tabela 13 – Número de Viagens Alocadas a cada TP do Cenário M4	87
Tabela 14 – Funções Objetivo dos Cenários	89
Tabela 15 – Configuração dos Computadores Utilizados	90
Tabela 16 – Status do Solver Emitido pelo GAMS e seu Significado	91
Tabela 17 – Status do Solver Emitido pelo GAMS para o Problema.....	91
Tabela 18 – Status do Modelo Emitido pelo GAMS e seu Significado	92
Tabela 19 – Status do Modelo Emitido pelo GAMS para o Problema.....	92
Tabela 20 – Tempo Despendido para Realização da Roteirização	93
Tabela 21 – Custos e Capacidades dos Veículos Utilizados para a Distribuição.....	94
Tabela 22 – Resultados da Distribuição para o Cenário M0	94
Tabela 23 – Resultados da Distribuição para o Cenário M1	95
Tabela 24 – Resultados da Distribuição para o Cenário M2	96
Tabela 25 – Resultados da Distribuição para o Cenário M3	96
Tabela 26 – Resultados da Distribuição para o Cenário M4	97
Tabela 27 – Reduções Obtidas nos Cenários em Comparação ao Cenário M0 - Base	97
Tabela 28 – Custos Mensais e Anuais de Distribuição Referentes aos Cenários Gerados	97
Tabela 29 – Exatidão da Resposta.....	98
Tabela 30 – Diferença gerada no Custo de Distribuição	99
Tabela 31 – Custos e Capacidades dos Veículos Utilizados para Transferência	99

Tabela 32 – Custo de Transferência para o Cenário M0	101
Tabela 33 – Custo de Transferência para o Cenário M1	101
Tabela 34 – Custo de Transferência para o Cenário M2	102
Tabela 35 – Custo de Transferência para o Cenário M3	102
Tabela 36 – Custo de Transferência para o Cenário M4	103
Tabela 37 – Resumos dos Custos de Transferência	103
Tabela 38 – Custos associados ao Centro de Distribuição	104
Tabela 39 – Custos Associados aos <i>Transit Points</i>	104
Tabela 40 – Custos de Movimentação e Armazenagem para o Cenário M0	105
Tabela 41 – Custos de Movimentação para o Cenário M1	105
Tabela 42 – Custo de Movimentação para o Cenário M2	106
Tabela 43 – Custo de Movimentação para o Cenário M3	106
Tabela 44 – Custo de Movimentação para o Cenário M4	106
Tabela 45 – Custos Mensais e Anuais de Movimentação e de Armazenagem	107
Tabela 46 – Custos do Cenário M0	109
Tabela 47 – Custos do Cenário M1	109
Tabela 48 – Custos do Cenário M2	110
Tabela 49 – Custos do Cenário M3	111
Tabela 50 – Custos do Cenário M4	111
Tabela 51 – Resumo dos Custos Logísticos de cada Cenário	113
Tabela 52 – Localizações dos TPs Seleccionados.....	116
Tabela 53 – Custos Incorridos do Cenário Escolhido	117
Tabela 54 – Localizações ds Pontos Atendidos.....	123
Tabela 55 – Levantamento dos Clusters.....	126
Tabela 56 – Exemplo de saída gerado pelo modelo TSP	134
Tabela 57 – Saída Resumida para o Cenário M0 gerado pelo modelo TSP.....	134
Tabela 58 – Saída Resumida para o Cenário M1 gerado pelo modelo TSP.....	142
Tabela 59 – Saída Resumida para o Cenário M2 gerado pelo modelo TSP.....	142
Tabela 60 – Saída Resumida para o Cenário M3 gerado pelo modelo TSP.....	142
Tabela 61 – Saída Resumida para o Cenário M4 gerado pelo modelo TSP.....	143
Tabela 62 – Viagens Atendidas por TP	143

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CD	Centro de Distribuição
CS	Cadeia de Suprimentos
LRP	<i>Location-Routing Problem</i>
MDVRP	<i>Multi-Depots Vehicle Routing Problem</i>
TP	<i>Transit-Point</i>
TSP	<i>Travelling Salesman Problem</i>
VRP	<i>Vehicle Routing Problem</i>

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	31
1.1. Descrição da Empresa	31
1.2. Descrição da Malha Logística Atual Estudada.....	32
1.3. Utilização de <i>Transit Points</i> para Obtenção de Incentivo Fiscal.....	36
1.4. Definição do Problema	37
1.5. Objetivo do Estudo	37
1.6. Relevância do Tema	38
1.7. Termos Utilizados no Trabalho	40
1.8. Organização do Trabalho.....	42
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA E CONCEITOS RELEVANTES	45
2.1. Logística e Cadeia de Suprimentos	45
2.2. Serviço e Nível de Serviço	47
2.2.1. Serviço.....	47
2.2.2. Nível de Serviço Logístico	49
2.3. Custo Total Logístico	51
2.4. Problema de P-Medianas	53
2.5. Modelos de Roteirização	54
2.5.1. Problema Clássico de Roteirização de Veículos (VRP).....	54
2.5.2. VRP com Múltiplos Depósitos (MDVRP).....	57
2.5.3. Problema Caixeiro Viajante (TSP).....	58
2.6. Problema de Localização-Roteirização (LRPs).....	60
2.7. <i>Transit Point</i>	61
2.8. Geocodificação	62
3. METODOLOGIA APLICADA	63
3.1. Definição da heurística	63
3.1.1. Premissas e simplificações	63
3.1.2. Cenários.....	64
3.1.3. Determinação dos Parâmetros Utilizados.....	65
3.2. Modelo de Localização (P-Medianas).....	69
3.2.1. Premissas adotadas	69

3.2.2.	O Modelo	70
3.2.3.	Detalhamento do Modelo	71
3.3.	Modelo de Roteirização (TSP)	74
3.3.1.	Premissas Adotadas	74
3.3.2.	O Modelo	74
3.3.3.	Detalhamento do Modelo	76
3.4.	Modelo usado para Transferência.....	77
3.4.1.	Premissas	77
3.4.2.	O Modelo	77
3.4.3.	Detalhamento do Modelo	78
4.	RESULTADOS OBTIDOS	81
4.1.	Localização	81
4.1.1.	Resumo das Funções Objetivo de Cada Cenário	88
4.2.	Roteirização	89
4.2.1.	Desempenho Computacional	90
4.2.2.	Resultados Obtidos	94
4.2.2.1.	Resumo dos Custos de Distribuição	97
4.2.3.	Exatidão da Solução	98
4.3.	Transferência	99
4.3.1.	Resultados Obtidos	99
4.3.1.1.	Resumo dos Custos de Transferência	103
4.4.	Cálculo dos Custos de Armazenagem	104
4.4.1.	Resumo dos Custos de Movimentação e Armazenagem	107
5.	CONSOLIDAÇÃO DOS RESULTADOS	109
5.1.	Resumo dos Custos Logísticos Totais	111
6.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	115
6.1.	Recomendações	115
6.2.	Estudos Futuros	118
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	121
	APÊNDICE A – Localizações dos Pontos Atendidos	123
	APÊNDICE B – Levantamento dos Clusters	126
	APÊNDICE C – Detalhamento do Modelo P-medianas	130
	APÊNDICE D – Modelo TSP Gerado	131

APÊNDICE E – Arquivo de Entrada (TSP).....	133
APÊNDICE F – Arquivo de Saída (TSP).....	134
APÊNDICE G – Arquivo Resumido de saída (tsp).....	134
APÊNDICE H – Viagens Atendidas por TP	143
ANEXO A – Sistema de Geolocalização	149

1. INTRODUÇÃO

No mercado globalizado em que estamos inseridos, a procura por processos mais econômicos é considerada estratégica na maioria das empresas.

Um dos setores em que essa visão é fortemente marcada é o setor de logística. Isso se deve aos altos custos envolvidos na operação de transporte e manutenção de mercadorias e à velocidade de obsolescência da malha logística, existindo a necessidade de constante atualização e adaptação para assegurar a eficiência durante a expansão/contração e/ou mutação da empresa.

O trabalho em questão é baseado em dados reais de uma grande empresa do setor de laticínios, cuja identidade é mantida em confidencialidade, sendo que seus valores foram alterados para manutenção do sigilo dos custos desembolsados por ela. Esta empresa será denominada “Empresa X”, daqui em diante.

Os dados, mesmo alterados, mantêm coerência com os dados originais, fazendo com que a conclusão do estudo não sofra alterações e seja aplicável na prática.

1.1. Descrição da Empresa

A empresa abordada neste trabalho de formatura é uma empresa de produtos lácteos, para a qual o autor realizou, em conjunto com a Fundação C. A. Vanzolini, do Departamento de Engenharia de Produção da Escola Politécnica da USP, alguns projetos estratégicos envolvendo seu setor de logística e sua rede de distribuição.

A Empresa X é uma empresa multinacional, que tem como principal fonte de receita a venda de produtos lácteos frescos, além de águas e nutrição infantil e hospitalar. A empresa iniciou suas atividades no Brasil na década de 70. A maioria dos seus produtos é perecível, contando com um *shelf life* de, aproximadamente, 40 dias e necessitando, portanto, de refrigeração. Por conta disto, é de fundamental importância contar com uma distribuição rápida e confiável.

A demanda por seus produtos sofre pouca sazonalidade, podendo ser considerada constante ao longo do ano.

Sua rede logística abrange boa parte do território brasileiro, estendendo-se pelas regiões Sul, Sudeste, Centro-Oeste e Nordeste do Brasil.

A Empresa X possui uma fábrica localizada em Poços de Caldas (MG), sua matriz está situada na cidade de São Paulo e seus escritórios de vendas e centros de distribuição estão espalhados pelo Brasil.

Para finalidade de estudo, a parte da malha logística da empresa abordada neste trabalho abrange a região do interior de São Paulo com atendimento pela fábrica de Poços de Caldas, ao sul de Minas Gerais. A descrição detalhada da malha logística atual estudada encontra-se apresentada na seção seguinte.

1.2.Descrição da Malha Logística Atual Estudada

A Empresa X faz, atualmente, a transferência de seus produtos a partir de Poços de Caldas (MG) para Vinhedo (SP), onde está localizado o seu Centro de Distribuição (CD), e para Louveira (SP), onde a empresa mantém um Transit Point (TP). Dessas duas instalações, a empresa distribui seus produtos para os clientes da região de Campinas, interior de São Paulo.

Estocagem dos Produtos

Os produtos podem ser estocados no armazém junto à fábrica ou no CD de Vinhedo.

Entrega dos Produtos

As entregas dos pedidos feitas através do CD, assim como as solicitadas através do TP, são realizadas em D+1, ou seja, são entregues no dia seguinte à colocação do pedido. Os carregamentos da fábrica para o CD e para o TP são realizados à noite e as entregas são distribuídas pela manhã do dia seguinte à colocação do pedido.

Os carregamentos de produtos da fábrica ao CD são transportados sempre que há produtos suficientes para encher uma carreta. No CD, os produtos são armazenados até que um pedido seja colocado e os leve à distribuição para os clientes.

Transferências da fábrica ao TP são realizadas sempre que houver pedidos engatilhados. É importante salientar que os produtos transferidos para o TP já estão com a nota fiscal endereçada aos clientes finais. Será visto, mais para frente, que este fato irá influenciar na obtenção de incentivos fiscais.

No TP, a carga que chega da fábrica é, então, fracionada por pedidos e esses são alocados em veículos menores no início da manhã.

Devido ao fato de os produtos necessitarem de refrigeração, o TP utilizado pela Empresa X é um galpão refrigerado de uma transportadora, onde é possível manter uma temperatura média de 3 graus centígrados, ideal para a conservação da mercadoria.

A Empresa X não realiza distribuição diretamente da fábrica. Nenhuma entrega é realizada sem que passe pelo CD ou pelo TP.

A Figura 1 mostra, esquematicamente, como é feita essa distribuição.

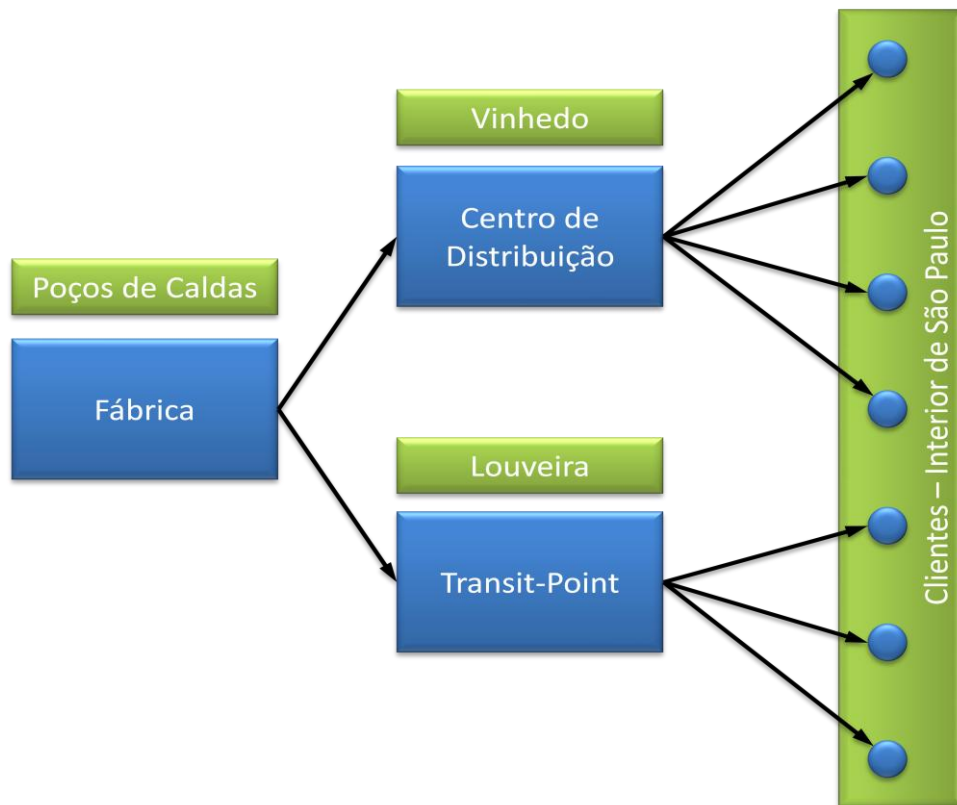


Figura 1 – Distribuição da Empresa X para Região de Campinas e Interior de São Paulo

Para melhor visualização da malha atual, foi elaborado um mapa com esses três principais elos mencionados na figura anterior. Os pontos em azul representam os clientes. Os municípios de Poços de Caldas, Vinhedo e Louveira, onde estão localizadas as instalações, estão destacados no mapa. Observe com maiores detalhes na Figura 2:

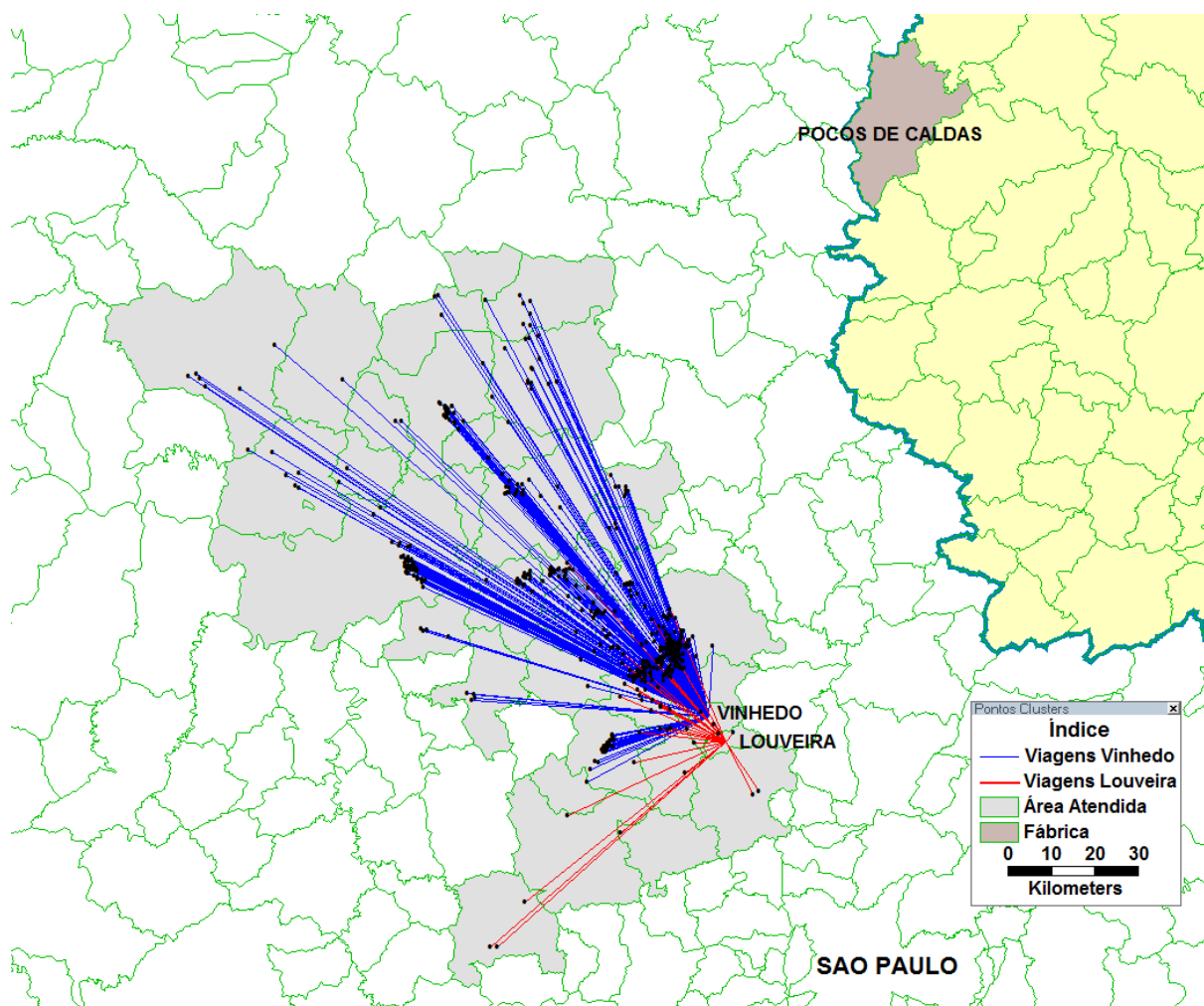


Figura 3 – Viagens Realizadas Através da Malha Atual Estudada

Como é possível visualizar na Figura 3 e na Tabela 1, a grande maioria das viagens (470 das 507), representando 92,7% do total, é feita através do CD em Vinhedo. Isso decorre do fato de o TP de Louveira ter sido aberto apenas no ano de 2010. Veja alguns dados na Tabela 1:

Tabela 1 – Visão Geral dos Dados Primários

Origem	Nº de Viagens	Nº de Entregas	Peso Bruto (kg)	Percentual da Receita Realizada
Vinhedo	470	9.361	737.903	63%
Louveira	37	516	181.753	37%
Total	507	9.877	919.656	
Horizonte de dados: 01/04/2010 a 30/04/2010 Fonte: Dados retirados da base de dados da Empresa X				

A utilização do TP de Louveira para distribuição de materiais conta como um teste piloto da Empresa X para o aproveitamento de incentivo fiscal dado pelo governo de Minas Gerais. O detalhamento deste incentivo será apresentado na seção 1.3, a seguir.

1.3.Utilização de *Transit Points* para Obtenção de Incentivo Fiscal

O incentivo fiscal dado pelo governo de estado de Minas Gerais à Empresa X tem a forma de crédito presumido no valor de 5% das vendas realizadas a partir da fábrica de Poços de Caldas para o estado de São Paulo.

Lembrando que a alíquota de ICMS - Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços - entre os estados de Minas Gerais e de São Paulo é de 12% sobre o valor da nota fiscal da mercadoria, conforme Resolução do Senado Federal n. 22/89, esse incentivo fiscal, crédito presumido, equivale a reduzir esta alíquota, para produtos vendidos ao estado de São Paulo, de 12% para 7%.

A maneira encontrada pela Empresa X para obter esse incentivo fiscal foi distribuindo os produtos através de *Transit Points*, com as notas fiscais dos produtos transferidos saindo da fábrica de Poços de Caldas e endereçadas aos clientes da empresa, caracterizando a venda.

Isso não ocorre com os produtos transferidos para o CD de Vinhedo, pois as notas fiscais estão em nome da filial da Empresa X, caracterizando, apenas, uma transferência.

Assim, esse incentivo é dado apenas para vendas feitas de Minas Gerais para o estado de São Paulo, ou seja, transferências feitas de Minas Gerais para o estado de São Paulo, não são consideradas.

Sabendo, pelos dados obtidos pela Empresa X, que o seu faturamento obtido por meio dos produtos fabricados em Poços de Caldas e vendidos na a região do interior do estado de São Paulo é maior que R\$ 4,5 milhões mensais, pode-se afirmar que o valor total do incentivo fiscal, utilizando apenas TPs para a distribuição, seria maior do que R\$ 225.000 mensais. Observe cálculo feito abaixo:

$$R\$ 4,5 \text{ MM} * 5\% = R\$ 225.000$$

Como observado na Tabela 1, 37% do faturamento é obtido passando pelo TP de Louveira, que já aproveita o incentivo fiscal. Os 63% restantes ainda não aproveitam o incentivo fiscal do governo de Minas Gerais.

A Empresa X pode deixar de pagar, caso passe a distribuir sua mercadoria inteiramente por TPs, cerca de R\$ 141.750 mensais. Observe cálculo feito abaixo:

$$R\$ 225.000 * 63\% = R\$ 141.175$$

1.4. Definição do Problema

O problema tratado neste trabalho diz respeito à distribuição dos produtos da Empresa X na região de Campinas, interior de São Paulo.

Pelas figuras apresentadas no item 1.2, pode-se perceber que as instalações intermediárias da rede de distribuição - CD em Vinhedo e TP em Louveira - estão deslocadas em relação aos pontos de entrega de seus clientes. Isso faz com que o custo de distribuição fique encarecido, por conta da alta quilometragem percorrida, desnecessariamente.

Adicionalmente ao problema do deslocamento, há uma sobreposição da área de cobertura dos dois pontos, indicando que uma melhora da situação atual é possível.

Em função da experiência vivenciada pela empresa com a utilização do TP de Louveira, mencionado no item 1.2, em que os custos mostraram-se animadores, a qualidade do serviço pôde ser mantida e, principalmente, houve a redução significativa de arrecadação de impostos devido ao incentivo fiscal oferecido pelo estado de Minas Gerais, a Empresa X considera a possibilidade de migração da configuração de sua rede atual para uma configuração que utilize apenas TPs para a distribuição de seus produtos.

1.5. Objetivo do Estudo

O objetivo deste estudo é propor melhores alternativas para o aprimoramento da malha de distribuição da empresa X na região de Campinas (SP), levando em conta mudanças do modelo de distribuição atual - um centro de distribuição (CD) em Vinhedo (SP) e um TP em Louveira (SP) - para um modelo em que o CD de Vinhedo seja descontinuado, e, assim, a exemplo do *Transit Point* (TP) de Louveira, um ou mais TPs sejam utilizados para que o

incentivo fiscal dado pelo governo de Minas Gerais seja aproveitado e os custos gastos pela Empresa X tenham uma redução.

O estudo propõe-se, também, a estudar as macrolocalizações mais adequadas para que este ou estes TPs sejam instalados.

Os custos anuais da rede atual de distribuição da Empresa X serão obtidos por meio do levantamento dos dados históricos do mês de abril do ano de 2010 e de sua projeção para o período de um ano, uma vez que a demanda pelos produtos não sofre sazonalidade. Com isso, será possível calcular o *saving* – redução dos custos anuais incorridos – gerado com o funcionamento do(s) novo(s) TP(s) na distribuição de mercadorias lácteas na região de Campinas (SP).

Será possível definir o número de TPs que a empresa deverá manter para maximizar a economia e a macrolocalização de cada ponto.

Resumindo, espera-se, então, obter ao final deste trabalho, as seguintes informações:

- Quantidade ideal de TPs.
- Macrolocalizações dos TPs – Municípios onde deverão ser abertos os TPs.
- Viagens atendidas por TP.
- Custos anuais incorridos para atendimento da demanda para cada cenário – incluindo o cenário base com a malha logística atual de distribuição –, sendo estes custos anuais compostos, simplificada e neste trabalho, por:
 - Custos de distribuição;
 - Custos de transferência;
 - Custos de armazenagem e movimentação de cargas gastos no CD e nos TPs.
- Economia gerada em cada cenário.

1.6.Relevância do Tema

Não é de hoje que a Logística é vista como importância estratégica. O poder e a capacidade de organização da logística têm sido fatores determinantes nas vitórias e derrotas de inúmeras guerras. Christopher (1997) em seu livro, *Logística e Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos*, menciona, como exemplo, a Guerra da Independência dos Estados Unidos pois muitos acreditam que a vitória americana foi definida por falha logística inglesa. O autor

comenta que, durante os seis primeiros anos de guerra, a administração dos alimentos e equipamentos de 12.000 soldados foi inadequada, afetando o resultado de batalhas.

Atualmente, as empresas utilizam a logística como forma de adquirir vantagem competitiva, já que, conforme Ballou (2006), a logística nas empresas possui alta participação nos custos, podendo variar de 4% a 30% do valor de suas vendas.

Segundo Ballou (2006), os custos despendidos com a logística representam 12% do PIB mundial. De acordo com a COPPEAD (Lima (2006)), o custo logístico do Brasil em 2004 ficou em R\$ 222 bilhões, o que equivale a 12,6% do PIB do Brasil na época. Já para os EUA, tais custos representavam cerca de 8% de seu PIB. Essa diferença apresentada pelo estudo da COPPEAD demonstra uma grande oportunidade de melhoria dos custos logísticos brasileiros e serve de estímulo para promover novas ideias para a sua diminuição. A parte do custo associado ao transporte no Brasil é 50% superior ao equivalente nos EUA; já o custo associado à armazenagem no Brasil é, praticamente, o dobro do apresentado nos EUA. Observe a diferença no Gráfico 1:

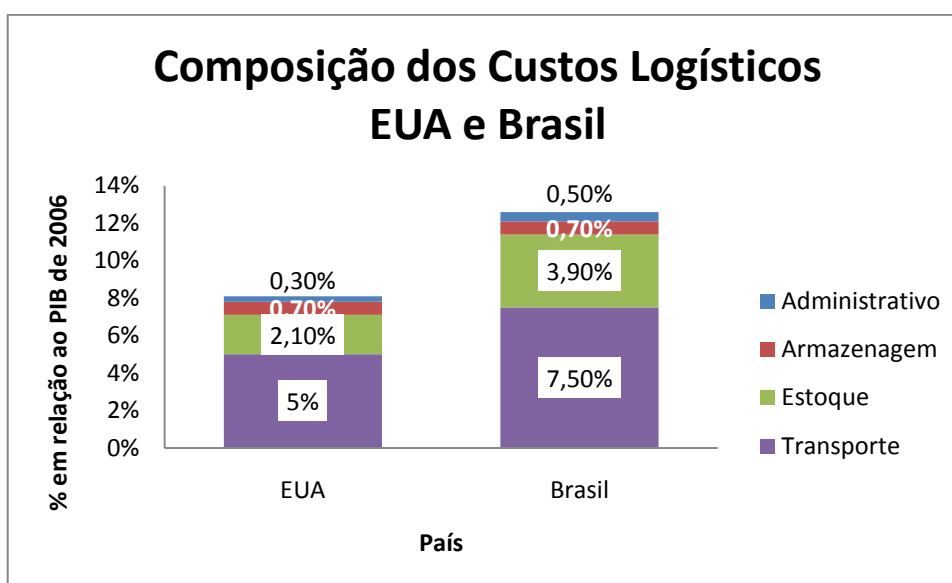


Gráfico 1 – Composição do Custo Logístico nos EUA e no Brasil

Fonte: Adaptado COPPEAD (Lima [2004])

Segundo Ballou (2006), uma boa gestão da cadeia de suprimentos pode, não apenas diminuir os custos, mas também gerar novas receitas. Isso faz com que a logística seja muito importante nas decisões estratégicas da empresa, podendo ser o diferencial entre ela e suas

concorrentes, permitindo uma penetração mais eficaz de novos mercados, acarretando um aumento na fatia do mercado e incremento dos lucros da empresa.

A logística visa atender ao cliente com custos acessíveis, levando sempre em consideração o nível de serviço associado. Para determinar o nível de serviço desejado, deve-se ter em mente o *trade-off* entre os custos de transportes, processamento de pedidos, estocagem e o custo de vendas perdidas. Esse *trade-off* pode ser visualizado na Figura 4:

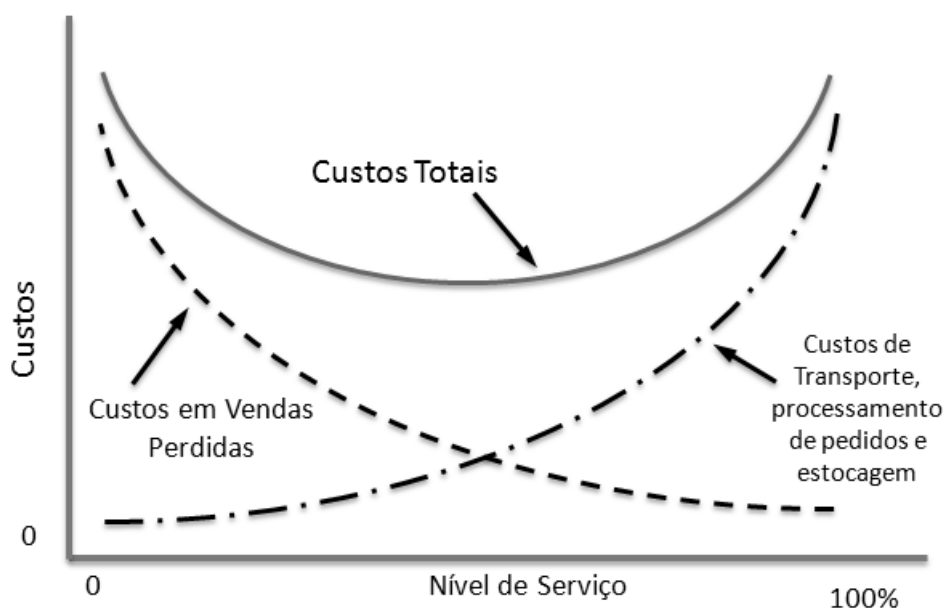


Figura 4 – Trade-off entre Custo de Transporte e Custo em Vendas Perdidas

Fonte: Adaptado de Ballou (2006)

1.7.Termos Utilizados no Trabalho

Este item tem, como objetivo, tornar mais claro o entendimento de alguns termos utilizados no trabalho, ajudando o leitor a se familiarizar com a linguagem adotada pelo autor.

Transit Point (TP)

Segundo Lacerda (2000), *Transit Points* são instalações localizadas perto de uma região de atendimento e distantes dos armazéns centrais. Os TPs recebem carregamentos consolidados que devem ser divididos em carregamentos menores para a realização da distribuição local. A principal característica do TP é que os produtos recebidos já têm seus destinos designados, ou seja, a nota fiscal já está no nome do cliente final e os produtos podem ser expedidos assim

que forem separados. Essa é a diferença mais relevante entre o TP e o *cross-docks*: no *cross-docks* a nota fiscal ainda deve ser emitida.

Centros de Distribuição

Segundo Rodrigues e Pizzolato (2003, pág. 1), a definição de centro de distribuição pode ser descrita da seguinte maneira:

é uma configuração regional de armazém onde são recebidas cargas consolidadas de fornecedores ou de fábricas próprias. Essas cargas são fracionadas a fim de agrupar os produtos em quantidade e sortimento corretos e, então, encaminhadas para os pontos de venda, mais próximos.

Distância Euclidiana

Conforme Ballou (2006), a distância euclidiana entre dois pontos é a distância em linha reta entre eles e pode ser obtida através da relação de Pitágoras, como mostrado na seguinte fórmula:

$$D_{A-B} = \sqrt{(X_b - X_a)^2 + (Y_b - Y_a)^2} \quad (1.1)$$

Onde X_b , X_a , Y_b , e Y_a podem ser observados na Figura 5:

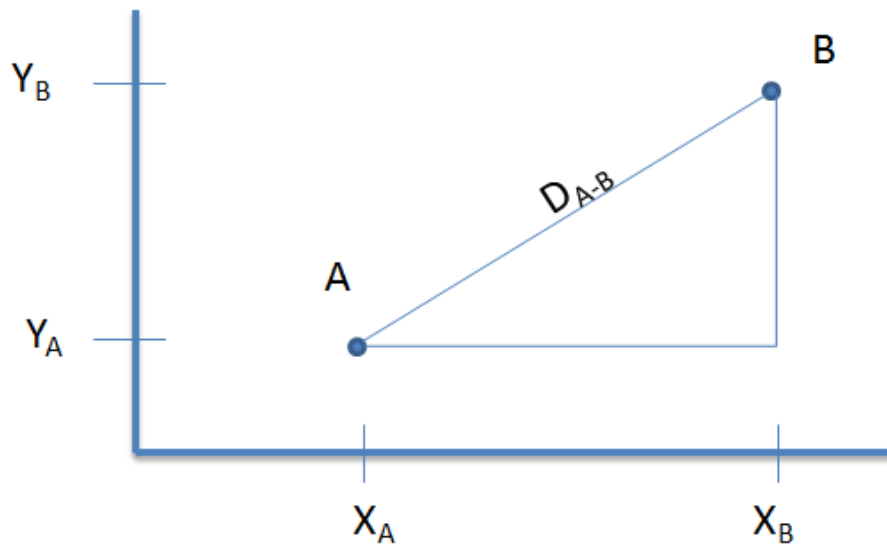


Figura 5 – Representação da Distância Euclidiana entre os Pontos A e B

1.8.Organização do Trabalho

O trabalho está organizado da seguinte maneira:

Capítulo 2

Será apresentada a revisão bibliográfica e alguns conceitos importantes para a elaboração do trabalho. Estão disponíveis conceitos sobre:

- Logística e Cadeia de Suprimentos;
- Serviços e Nível de Serviço;
- Custo Total Logístico;
- Modelo de P-medianas;
- Modelos de Roteirização:
 - Problema Clássico de VRP;
 - VRP para Múltiplos Depósitos;
 - TSP;
- Problema de Localização-Roteirização;
- *Transit Point*;
- Geocodificação.

Capítulo 3

Será dedicado à metodologia aplicada neste trabalho. Serão explicados a composição da heurística adotada, o roteiro de sua modelagem, os cenários gerados, os modelos desenvolvidos. Serão também informados, suas estruturas, os parâmetros utilizados e as premissas adotadas para a resolução de cada parte.

Capítulo 4

Serão explicitados todos os resultados obtidos em cada modelo. Ou seja, para cada cenário serão mostradas as seguintes informações:

- Localização de cada TP
- Quilômetros rodados durante a distribuição para cada cenário
- Custo de roteirização de cada TP
- Custo total de roteirização para cada cenário

- Custo de transferência de cada TP
- Custo de transferência para cada cenário
- Custo de movimentação e de armazenagem para cada cenário

Capítulo 5

Serão apresentados os custos consolidados para cada cenário gerado. A partir desses custos será possível realizar a análise sobre os resultados obtidos e concluir qual cenário permite obter o menor custo total logístico, gerando a maior economia.

Capítulo 6

Serão apresentadas as recomendações sobre quais ações devem ser tomadas pela Empresa X para o aprimoramento de sua malha logística e sugestões para aprimoramento do estudo em questão em pesquisas futuras.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA E CONCEITOS RELEVANTES

Neste capítulo serão descritos métodos e conceitos importantes para auxiliar os leitores no entendimento dos dados apresentados pelo trabalho.

Serão tratados assuntos como a logística e cadeia de suprimentos, assim como o conceito de nível de serviço, custo total, modelos de otimização para problemas de roteirização de veículos (VRP – *Vehicle Routing Problem*) e problemas de localização (P-Mediana) e Geocodificação.

2.1. Logística e Cadeia de Suprimentos

Christopher (1997, pág. 2) define a logística como sendo:

o processo de gerenciar estrategicamente a aquisição, movimentação e armazenagem de materiais, peças e produtos acabados (e os fluxos de informações correlatas) através da organização e seus canais de *marketing*, de modo a poder maximizar as lucratividades presente e futura através do atendimento dos pedidos a baixo custo.

A Logística/Cadeia de Suprimentos segundo Ballou (2006, pág. 29), entre outras definições citadas no seu livro, é:

um conjunto de atividades funcionais (transportes, controle de estoques, etc.) que se repetem inúmeras vezes ao longo do canal pelo qual matérias-primas vão sendo convertidas em produtos acabados, aos quais se agrega valor ao consumidor.

A cadeia de suprimentos engloba, desta maneira, todos os estágios envolvidos no atendimento de um pedido de um cliente. A cadeia de suprimentos inclui fabricantes, fornecedores, transportadoras, depósitos, varejistas e os clientes dos varejistas (Chopra & Meindl, 2003).

Chopra & Meindl (2003) citam, em seu livro, que dentro da cadeia de suprimentos de uma fábrica, por exemplo, todas as funções envolvidas no pedido do cliente estão inclusas, tais como: desenvolvimento de novos produtos, marketing, operações, distribuição, finanças, atendimento ao cliente, etc.

Shapiro (2001) e Chopra & Meindl (2003) mostram, em seus livros, representações semelhantes e muito utilizadas para caracterizar a cadeia de suprimentos. O modelo é mostrado na Figura 6 e foi adaptado para o setor de produtos lácteos que conta com os

seguintes níveis ou elos: Fornecedores, Fábrica, Centro de Distribuição e Mercado Consumidor.

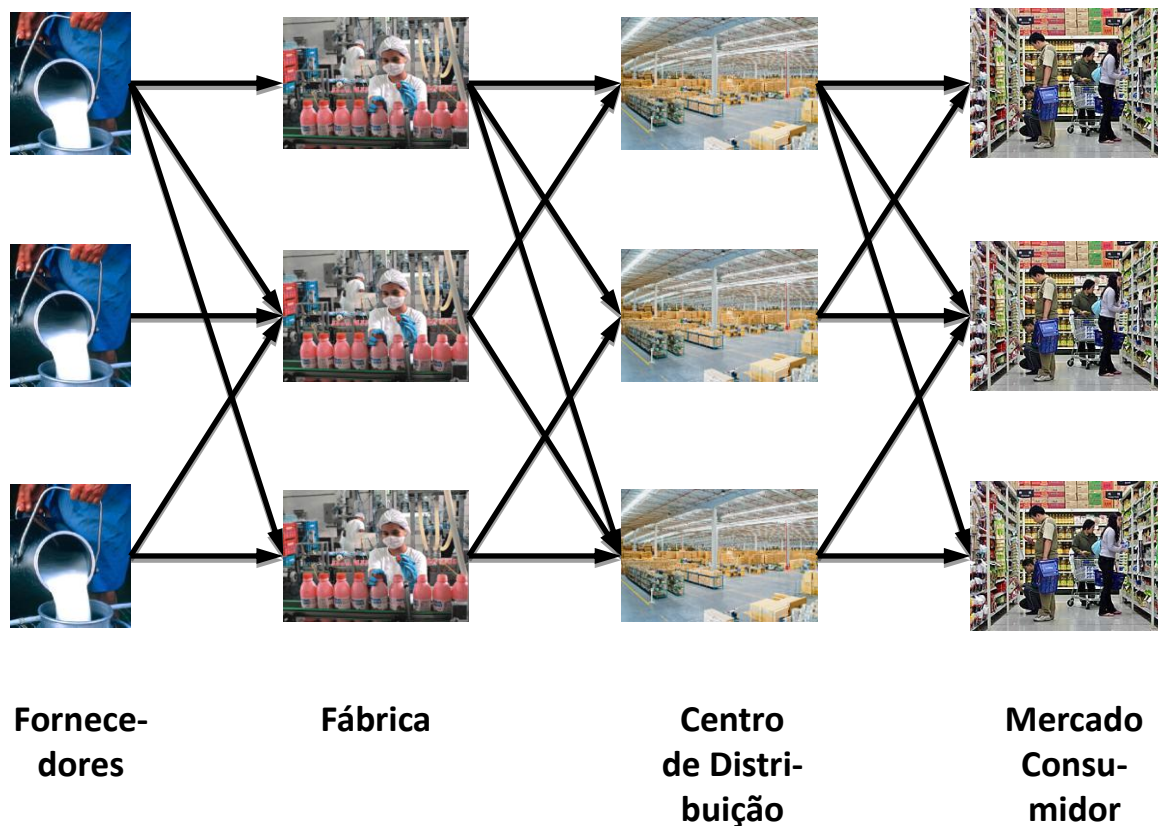


Figura 6 – Representação da Cadeia de Suprimentos do Setor de Produtos Lácteos

Fonte: Adaptado de Shapiro (2001)

Segundo Shapiro (2001), o número de níveis, e a definição de cada um deles são, normalmente, definições arbitrárias e o fluxo dos produtos vai dos fornecedores em direção ao mercado consumidor. Já o fluxo de informação ocorre mais intensamente no sentido inverso.

Chopra & Meindl (2003) organizam, em três grupos, as decisões referentes aos fluxos de informação, produtos e monetários. São eles:

1. **Estratégia ou projeto da cadeia de suprimentos (CS):** As decisões tomadas pelas empresas nesta fase têm importância estratégica. Serão tomadas decisões referentes à localização de fábricas e centros de distribuição (CD), capacidade de produção e de armazenamento, quais produtos serão fabricados e em qual fábrica, modal de transporte utilizado e sistema de informação adotado. As decisões devem garantir que

a configuração da CS atenda aos objetivos estratégicos da empresa. As decisões devem antever condições dos anos seguintes.

2. **Planejamento da cadeia de suprimentos:** As configurações da CS estabelecidas na fase estratégica devem entrar como restrições para as decisões tomadas na fase de planejamento. O planejamento deve estabelecer parâmetros dentro dos quais a cadeia de suprimentos deverá funcionar por um determinado período de tempo. Esse horizonte temporal é de médio prazo (inferior a um ano). As decisões tomadas nesta fase englobam: previsão de demanda do próximo ano, mercados atendidos, construção de estoques, políticas de reabastecimento, periodicidade e dimensão das campanhas de marketing. O resultado desta fase é a definição do conjunto de políticas operacionais de curto prazo.
3. **Operação da cadeia de suprimento:** O objetivo da operação da CS é executar as políticas operacionais, definidas previamente no planejamento da CS, da melhor maneira possível, explorando a redução de incertezas devido à tomada de decisão de curto prazo, minimizando seus custos.

O objetivo da CS, segundo Chopra & Meindl (2003), “é maximizar o valor global gerado”(pág. 5). O valor gerado pela CS é definido pelos mesmos autores como sendo “a diferença entre o valor do produto final para o cliente e o esforço realizado pela cadeia de suprimento para atender o seu pedido”(pág. 5). Isso significa que, caso os custos gerados pela cadeia diminuam, para um valor fixo do produto final para o cliente, o valor da cadeia aumenta.

No item a seguir serão abordados o serviço e o nível de serviço que são importantes para o aumento do valor da cadeia de suprimentos.

2.2. Serviço e Nível de Serviço

2.2.1. Serviço

Serviço ao cliente é uma expressão que pode ser definida de inúmeras maneiras. Algumas delas são mencionadas a seguir:

Pontualidade e confiabilidade na entrega de materiais, de acordo com a expectativa do cliente (Christopher, 1997, pág. 29)

Um complexo de atividades envolvendo todas as áreas do negócio que se combinam para entregar e faturar os produtos da companhia de uma maneira que seja percebida como satisfatória pelo cliente e que demonstre os objetivos da companhia (Christopher, 1997, pág. 29)

O processo integral de atendimento do pedido do cliente. Isso inclui a recepção do pedido, a determinação da forma de pagamento, seleção e embalagem das mercadorias, embarque, entrega, disponibilização dos serviços ao usuário final e acerto de eventuais devoluções de produtos (Ballou, 2006, pág. 94)

Essas definições mostram que cada pessoa tem um jeito diferente de enxergar o que, de fato, é serviço ao consumidor para a empresa. Cabe a cada empresa avaliar qual a definição de serviço mais adequada para sua política organizacional e se ela é suficiente para atender às necessidades dos seus clientes.

A última definição mencionada remete-nos ao serviço a partir da ótica global da empresa. Um dos trabalhos patrocinados pelo *National Council of Physical Distribution Management* (Ballou, 2006) separou os elementos do serviço em três tipos, que são: Elementos de Pré-Transação, Elementos de Transação e Elementos de Pós-Transação. Os elementos estão listados na Figura 7.

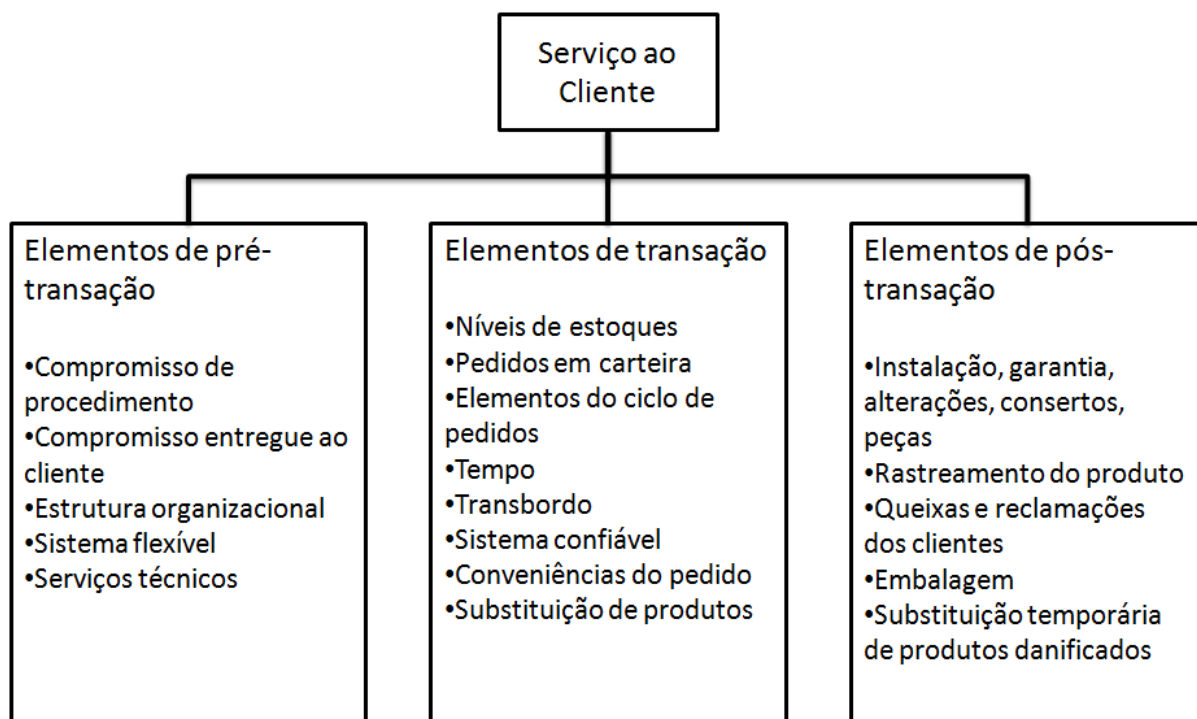


Figura 7 – Elementos do Serviço ao Cliente

Fonte: Ballou (2006)

2.2.2. Nível de Serviço Logístico

O nível de serviço logístico, segundo Ballou (2009, pág. 73)

...é a qualidade com que o fluxo de bens e serviços é gerenciado. É o resultado líquido de todos os esforços logísticos da firma. É o desempenho oferecido pelos fornecedores aos seus clientes no atendimento dos pedidos.

Para este autor, os níveis de serviço influenciam diretamente na escolha do produto ou serviço pelo cliente. Compradores selecionam seus fornecedores baseando-se na combinação de três características do produto: *Preço*, *Qualidade* e *Serviço*. Pesquisas apontam que o nível de serviço influencia o comprador na hora de fechar negócio e que sua deterioração prejudica, significativamente, as vendas.

Christopher (1997) aponta que o nível de serviço pode ser avaliado seguindo a qualidade dos seguintes elementos do serviço:

- **Ciclo do pedido:** Tempo decorrido entre o recebimento do pedido e a entrega do produto.
- **Disponibilidade de estoque:** Porcentagem da demanda atendida por produtos encontrados em estoque.
- **Restrições de tamanho de pedido:** Lote mínimo oferecido pelo fornecedor, ajuste ao *Just-in-time*.
- **Facilidade de colocação do pedido:** Comunicação entre sistemas de pedidos do cliente e do sistema de estoques do fornecedor.
- **Frequência de Entrega:** Exigência de entregas com frequências maiores e prazos mais curtos, devido ao modelo *Just-in-time*.
- **Confiabilidade de entrega:** Proporção de pedidos entregues na hora certa.
- **Qualidade da documentação:** Porcentagem das faturas, notas fiscais etc. sem erros e de fácil entendimento.
- **Procedimento para reclamações:** Ações adotadas para que as reclamações dos clientes sejam averiguadas e o nível de serviço seja restabelecido.
- **Pedidos entregues completos:** Porcentagem dos pedidos entregues contendo todos os itens pedidos.
- **Suporte técnico:** Suporte oferecido ao cliente pós-venda

- **Informação sobre a posição dos pedidos:** Meios que tornam o rastreamento do pedido disponível ao cliente.

Segundo Ballou (2006), os elementos básicos dos serviços ao cliente que podem ser controlados por um profissional de logística estão associados ao tempo de ciclo de pedido.

Ballou (2006, pág. 97) define o tempo do ciclo de serviço como sendo:

o tempo decorrido entre o momento de pedido do cliente, a ordem de compra ou requisição do serviço, e aquele da entrega do produto ou serviço ao cliente.

Segundo o autor, o tempo total do ciclo de serviço é formado por quatro segmentos, listados a seguir:

Transmissão do pedido: Composto pela consolidação do pedido e da transmissão de pedidos aos armazéns.

Processamento e montagem do pedido: Composto pela preparação das faturas, liberação do crédito e da montagem do pedido no armazém.

Tempo de aquisição de estoque adicional: Quando o estoque é insuficiente, é necessário tempo adicional para adquirir estoque da fábrica.

Tempo de entrega: Composto pelo tempo de embarque do armazém, tempo de embarque da fábrica e processamento do embarque pelo cliente.

Ainda, de acordo com o autor, disponibilidade de estoque influencia, significativamente, no tempo do ciclo de pedido, pois, havendo falta de estoque no CD, um pedido à fábrica deve ser gerado, e, caso haja falta do estoque na fábrica, uma ordem de produção deverá ser lançada, aumentando ainda mais o tempo despendido.

Segundo Ballou (2006), não há como mensurar exatamente o aumento das vendas devido ao do nível de serviço logístico adotado pela empresa, fazendo com que, na maioria das vezes, os profissionais de logística preestabeleçam níveis de serviços e, baseados neles, projetem o canal de suprimento.

Contudo, o autor afirma que já existem provas mais definitivas de que o nível de serviço logístico tem impacto sobre as vendas. A Figura 8 descreve a curva teórica que mostra os custos logísticos e a receita associados ao grau do nível de serviço adotado pela empresa.

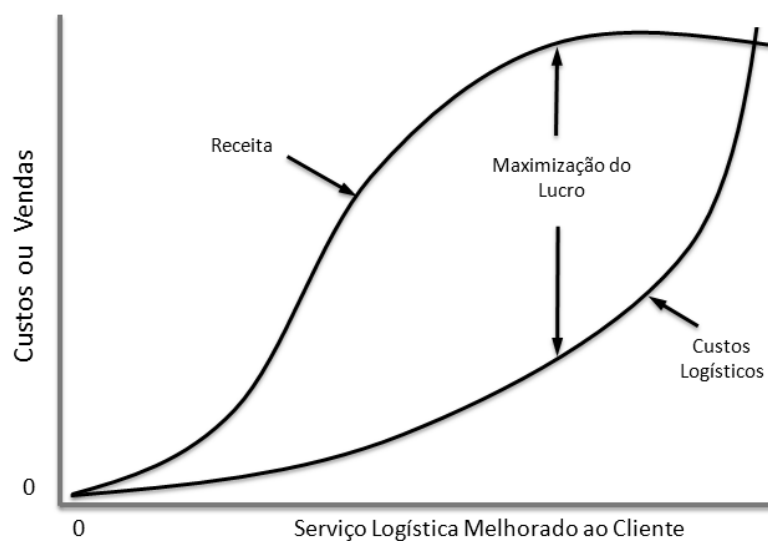


Figura 8 – Compensações Gerais nos Custos/Receitas em Vários Níveis dos Serviços Logísticos ao Cliente

Fonte: Ballou (2006)

Repare que, se for possível implantar estratégias de serviço mais em conta, que se igualem ao nível de serviço atingido pela estratégia anterior, a curva de custos deslocar-se-á para direita, aumentando a maximização dos lucros.

No item 2.3 serão abordados os componentes de custos que compõem o custo total logístico, que podem influenciar o nível de serviço, a receita e o lucro da empresa.

2.3.Custo Total Logístico

Segundo Balou (2006), os padrões de custos das várias atividades de uma empresa frequentemente entram em conflito. Esses conflitos devem ser gerenciados para que haja um equilíbrio entre as atividades e, conseqüentemente, uma otimização conjunta das mesmas. Os custos de uma rede de distribuição podem ser separados da maneira mostrada na Figura 9, a seguir.

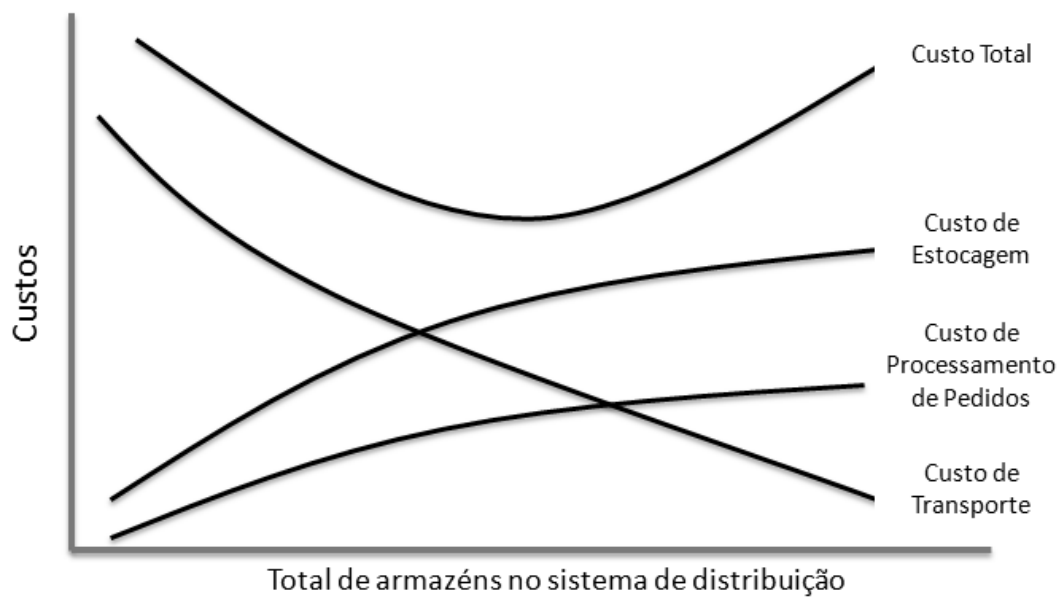


Figura 9 – Custos Totais de uma Rede de Distribuição

Fonte: Ballou, (2009)

Repare que a Figura 9 mostra um custo crescente de estocagem com o aumento do número de depósitos ou centros de distribuição (CDs). Segundo Ballou (2009), esse aumento ocorre devido ao aumento de estoque na cadeia. Assim como o custo de estocagem, o custo do processamento de pedidos também é crescente devido ao fato de os CDs também serem pontos de processamento de pedido.

Esses aumentos não ocorrem quando, ao invés de um CD, um novo *transit-point* (TP) é aberto, pois o TP não tem como função armazenar mercadoria nem processar pedidos, e sim, apenas facilitar a transferência da carga de um veículo grande para veículos menores.

Já o custo de transporte é decrescente, devido ao fato de haver ganhos com a consolidação de fretes de transferência para os CDs e diminuição das distâncias dos fretes de distribuição para o cliente.

Com a abertura de TPs no lugar de CDs, os custos de transporte diminuem até certa quantidade de TPs, pois haverá a diminuição de custo de distribuição. Porém, devido ao fato de o TP necessitar de fretes diários para garantir o nível de serviço, o aumento do número de TPs faz com que o carregamento seja cada vez mais fracionado, eliminando ganhos com consolidação e gerando aumento do custo de transferência.

Com isso, deve-se analisar cada padrão de custos da rede de distribuição para se obter uma solução satisfatória.

2.4.Problema de P-Mediana

O problema de P-mediana não é um problema trivial a ser resolvido, já que o número de soluções possíveis é dado pela função (2.1):

$$\binom{N}{P} = \frac{N!}{P!(N-P)!} \quad (2.1)$$

onde N é o número de pontos de entrega e o P é o número de instalações que deseja localizar.

O problema de P-mediana pode ser modelado a partir da programação inteira binária, como foi descrito no artigo de Senne & Lorena (2003):

Índices

i	...	Origem da viagem (mediana) $i = \{1 \dots n\}$
j	...	Destino da Viagem (nó) $j = \{1 \dots n\}$

Parâmetros

d_{ij}	...	Distâncias ou custos associados à viagem de origem i e destino j
p	...	Número de medianas a serem encontradas
n	...	Número de nós a serem atendidos

Variáveis

x_{ij} ... Matriz de alocação com $x_{ij} = 1$ se o nó j é designado à mediana i , e $x_{ij} = 0$, caso contrário; $x_{ii} = 1$ se o nó i é uma mediana e $x_{ii} = 0$, caso contrário.

Função Objetivo

$$\text{Min } \sum_i \sum_j d_{ij} x_{ij} \quad (2.2)$$

Restrições

$$\sum_i x_{ij} = 1; \quad j = 1, \dots, N \quad (2.3)$$

$$\sum_i x_{ii} = p; \quad (2.4)$$

$$x_{ij} \leq x_{ii}; \quad i = 1, \dots, N \quad j = 1, \dots, N \quad (2.5)$$

$$x_{ij} \begin{cases} \text{Se } i \neq j \begin{cases} = 1, \text{ se o destino } j \text{ for alocado a mediana } i \\ = 0, \text{ caso contrário} \end{cases} \\ \text{Se } i = j \begin{cases} = 1, \text{ se o ponto } i \text{ for uma mediana} \\ = 0, \text{ caso contrário} \end{cases} \end{cases} \quad (2.6)$$

As restrições (2.3) garantem que cada nó seja atendido apenas por uma mediana, enquanto as restrições (2.5) garantem que, caso um nó seja atendido por uma origem i , essa origem deve ser aberta, ou seja, deve ser uma das medianas.

A restrição (2.4) obriga a quantidade de medianas abertas ser igual à quantidade desejada.

Por último, as restrições (2.6) garantem que as variáveis sejam binárias.

Na Figura 10 é possível observar um problema de P-medianas; neste caso, apenas uma mediana. Aqui os pontos são os clientes a serem atendidos e o quadrado representa a instalação, mediana, encontrada pelo problema. À esquerda temos o problema não resolvido, enquanto à direita, o problema já tem a resposta desejada.

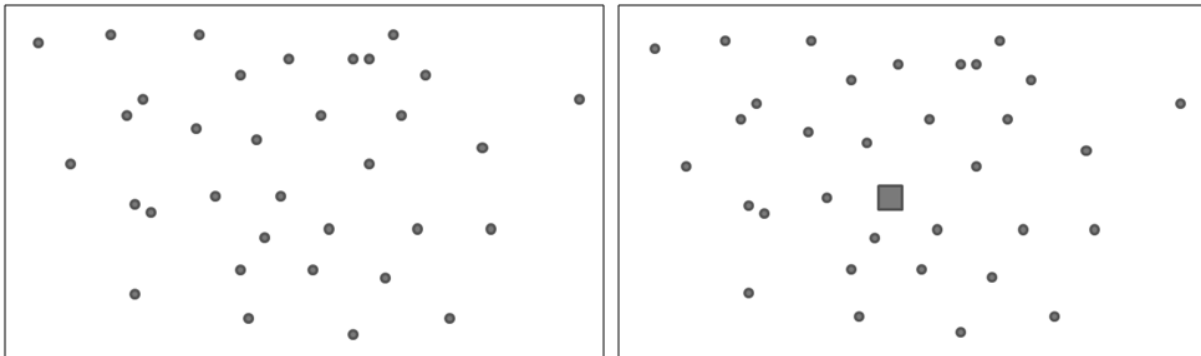


Figura 10 – Ilustração de um Problema de P-mediana (não resolvido à esquerda e resolvido, à direita)

2.5. Modelos de Roteirização

2.5.1. Problema Clássico de Roteirização de Veículos (VRP)

Cunha (2000) diz que o interesse pela roteirização de veículos – que persiste a mais de 30 anos – é devido à importância crescente dos problemas de roteirização para a logística e a sua complexidade matemática, por se tratar de um problema combinatório, NP-difícil, que torna

impossível a obtenção de soluções ótimas para situações encontradas no mundo real, trazendo o desafio da busca de novas heurísticas mais eficientes.

Uma das várias maneiras de se modelar um problema de roteirização de veículos foi introduzida por Fisher e Jaikumar (1981) e será apresentada a seguir:

Índices

i	...	Origem do arco
j	...	Destino do arco
v	...	Veículo utilizado

Parâmetros

NV	...	Número de veículos disponíveis para serem utilizados na roteirização
N	...	Número de pontos a serem atendidos, onde 0 representa centro de distribuição e 1 a N representam as localidades dos pontos de entrega
C_v	...	Capacidade em peso ou volume do veículo v
c_{ij}	...	Custo associado à viagem do ponto (cliente) i ao ponto j
d_i	...	Demanda do ponto i
S	...	Subgrafo qualquer do problema, excluindo o centro de distribuição

Variáveis

$$x_{ij}^v \begin{cases} = 1, \text{ caso o arco } ij \text{ é percorrido pelo veículo } v \\ = 0 \text{ caso contrário} \end{cases}$$

$$y_i^v \begin{cases} = 1, \text{ caso a demanda de } i \text{ é alocada ao veículo } v \\ = 0 \text{ caso contrário} \end{cases}$$

Função Objetivo

$$\text{Min } \sum_i \sum_j \sum_k c_{ij} x_{ij}^v \quad (2.7)$$

Restrições

$$\sum_v y_0^v = NV; \quad (2.8)$$

$$\sum_v y_i^v = 1; \quad i = 1, \dots, N; \quad (2.9)$$

$$\sum_i d_i y_i \leq C_v; \quad v = \{1, \dots, NV\}; \quad (2.10)$$

$$\sum_i x_{ij}^v = y_j^v; \quad j = 1, \dots, N; \quad v = \{1, \dots, NV\}; \quad (2.11)$$

$$\sum_j x_{ij}^v = y_i^v; \quad i = 1, \dots, N; \quad v = \{1, \dots, NV\}; \quad (2.12)$$

$$\sum_{i,j \in S} x_{ij}^v \leq |S| - 1; \quad S \subseteq \{1, \dots, N\}; \quad 2 \leq |S| \leq N - 1; \quad v = \{1, \dots, NV\}; \quad (2.13)$$

$$x_{ij}^v \in \{0,1\} \quad i = 1, \dots, N; \quad j = 1, \dots, N; \quad v = \{1, \dots, NV\}; \quad (2.14)$$

$$y_i^v \in \{0,1\} \quad i = 1, \dots, N; \quad v = \{1, \dots, NV\}; \quad (2.15)$$

A função objetivo (2.7) tem, como meta, a obtenção dos custos mínimos das viagens realizadas para atender a toda a demanda dos clientes. Esses custos podem ou não estar associados à distância percorrida.

A restrição (2.8) obriga os caminhões a iniciar e terminar a rota no CD ($i=0$). Já as restrições mostradas em (2.9) garantem que os pontos i sejam atendidos por um único caminhão. As restrições (2.10) limitam o carregamento à capacidade do caminhão.

O conjunto de restrições (2.11) e (2.12) são restrições de fluxo, garantindo que o carregamento que entra em um ponto, necessariamente, tenha que sair dele, impedindo que a rota termine num ponto que não seja o CD.

Um dos conjuntos de restrições mais importantes é o conjunto (2.13) que elimina o aparecimento de sub-rotas na resposta.

As restrições (2.14) e (2.15) tornam as variáveis x_{ij}^v e y_i^v binárias.

Na Figura 11 podemos observar um problema de VRP. Os pontos são os clientes a serem atendidos e o quadrado, a instalação por onde os clientes são atendidos. À esquerda é mostrado o problema VRP, ainda não resolvido, com seus dados de entrada. À direita é mostrada a solução do problema.

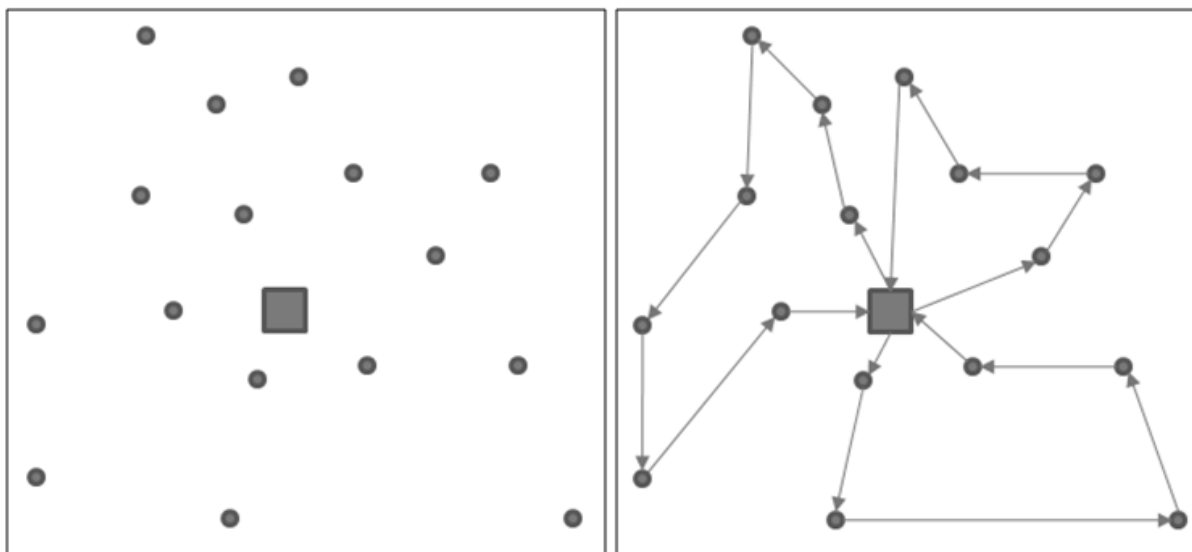


Figura 11 – Ilustração de um Problema de VRP (não resolvido à esquerda e resolvido, à direita)

2.5.2. VRP com Múltiplos Depósitos (MDVRP)

De acordo com Tansini et al. (2001), o problema de roteirização de veículos com múltiplos depósitos é um problema do tipo NP-difícil. Diferente do VRP, o MDVRP chama menos atenção dos pesquisadores.

A grande diferença do MDVRP para o VRP, é que, no MDVRP, os clientes (nós) devem ser atendidos por um dos diversos depósitos existentes.

Tansini et al. contam, em seu artigo, que pela dificuldade intrínseca do MDVRP, aproximações do tipo “primeiro clusteriza (designar clientes a um depósito), em seguida roteiriza”, parecem ser promissoras.

O ideal, citam os autores, seria fazer as duas partes, simultaneamente. Porém, para problemas grandes, esse método não é factível computacionalmente. Portanto, o problema deve ser separado em duas partes, em que a primeira seria designar um depósito para o cliente e, em seguida, para cada depósito, dividir o problema em pequenos subproblemas.

Os autores descrevem alguns tipos de métodos para clusterizar. Os métodos são: designação por urgência, designação cíclica, designação através de *clusters* e designação usando problema de transporte.

Os autores terminam o artigo alertando que a designação e a roteirização não são problemas independentes, portanto, uma má designação dos clientes aos depósitos resultará em custos mais elevados de roteirização.

Na Figura 12 é possível observar um problema de MDVRP. Os pontos representam clientes, enquanto os quadrados representam os pontos de atendimento, ou instalações, de onde os clientes são atendidos. À esquerda temos o problema ainda não resolvido, e à direita temos a roteirização dos pontos atendidos pelas instalações.

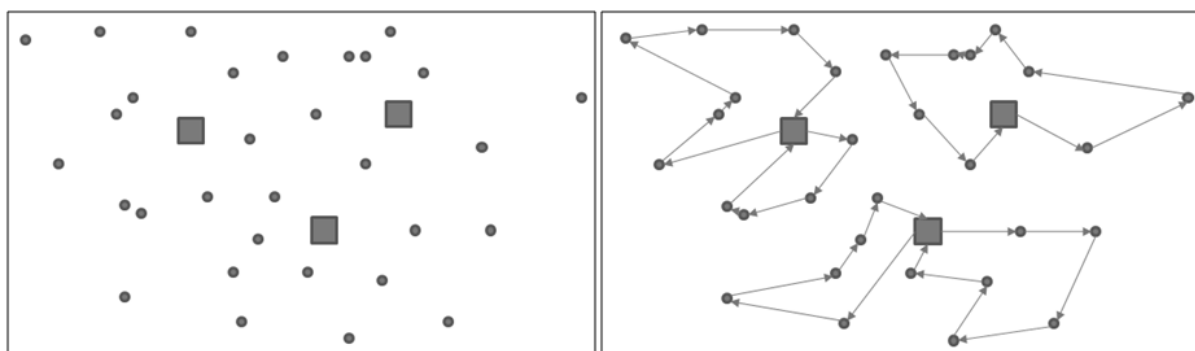


Figura 12 – Ilustração de um Problema de MDVRP (não resolvido à esquerda e resolvido, à direita)

2.5.3. Problema do Caixeiro Viajante (TSP)

O problema do caixeiro viajante, nada mais é do que uma simplificação do VRP. O problema TSP pode ser idealizado como um problema de roteirização com apenas um veículo sem capacidade máxima; pode ser representado, conforme Winston (2004, pág. 530), da seguinte maneira. Observe a seguir:

Índices

i	...	Origem do arco
j	...	Destino do arco

Parâmetros

N	...	Número de pontos a serem atendidos, onde o ponto 0 representa centro de distribuição e os pontos 1 a N representam as localidades dos pontos de entrega
c_{ij}	...	Custo associado à viagem do ponto (cliente) i ao ponto j
S	...	Subgrafo qualquer do problema, excluindo o centro de distribuição

Variáveis

$$x_{ij} \begin{cases} = 1, \text{ caso o arco } ij \text{ é percorrido} \\ = 0 \text{ caso contrário} \end{cases}$$

Função Objetivo

$$\text{Min } \sum_i \sum_j c_{ij} x_{ij} \quad (2.16)$$

Restrições

De Fluxo

$$\sum_i x_{ij} = 1; \quad j = 1, \dots, N; \quad (2.17)$$

$$\sum_j x_{ij} = 1; \quad i = 1, \dots, N; \quad (2.18)$$

De Subciclo

$$\sum_{i,j \in S} x_{ij} \leq |S| - 1; \quad S \subseteq \{1, \dots, N\}; \quad 2 \leq |S| \leq N - 1; \quad (2.19)$$

Binárias

$$x_{ij} \in \{0,1\} \quad i = 1, \dots, N; \quad j = 1, \dots, N; \quad (2.20)$$

A função objetivo (2.16) tem, como meta, a obtenção dos custos mínimos da viagem realizada para atender a toda a demanda dos clientes. Esses custos podem, ou não, estar associados à distância percorrida.

O conjunto de restrições (2.17) e (2.18) são restrições de fluxo, garantindo que o carregamento que entra em um ponto, necessariamente, tenha que sair dele, impedindo que a rota termine num ponto que não seja o CD.

Um dos conjuntos de restrições mais importantes é o conjunto (2.19) que elimina o aparecimento de subciclos na resposta.

As restrições (2.20) referem-se a variáveis x_{ij} binárias.

Na Figura 13 é possível observar a ilustração de um problema TSP, onde os pontos são os clientes a serem atendidos e o quadrado a instalação que irá atender os clientes. À esquerda temos o problema ainda não resolvido e à direita temos o problema já com a solução.

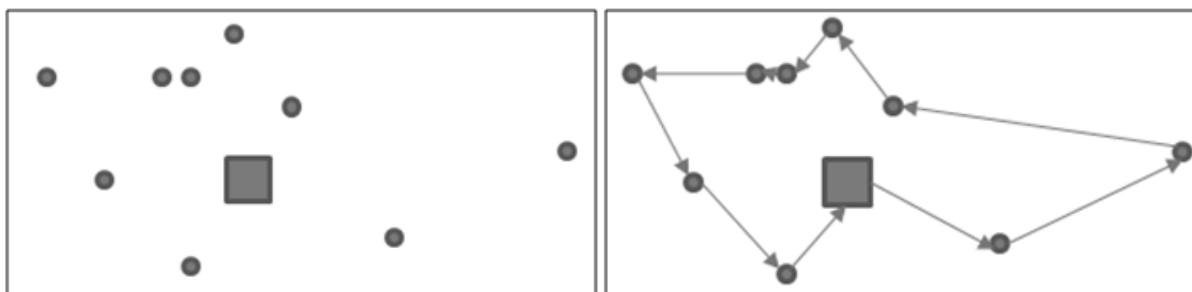


Figura 13 – Ilustração de um Problema de TSP (não resolvido à esquerda e resolvido, à direita)

2.6. Problema de Localização-Roteirização (LRPs)

Ambrosino et al. (2009) relatam, em seu artigo “*A heuristic based on multi-exchange techniques for a regional fleet assignment location-routing problem*” um problema de LRP em que uma rede de distribuição G é caracterizada por um armazém central δ , n clientes separados em r regiões, onde o cliente i tem uma determinada demanda d_i , $i = 1, \dots, n$, e uma frota de v veículos de diferentes capacidades.

O problema consiste em localizar os r depósitos locais – um para cada região – para o atendimento dos clientes, alocando os veículos para as regiões e designando as rotas de tal maneira que a demanda total não exceda a capacidade, as demandas dos clientes sejam atendidas e o custo total de distribuição seja minimizado.

O custo total de distribuição de um problema LRP, segundo Ambrosino et al. (2009), é normalmente obtido somando-se o custo de roteirização associado às rotas dos veículos, custos gerados pelos depósitos (como *setup* e custos operacionais de cada depósito) e o custo de estoques relacionados aos produtos estocados nos depósitos.

Para visualizar o problema estudado por Ambrosino et al. (2009), foi retirada de seu artigo a Figura 14, que mostra o fluxo dos veículos estudados:

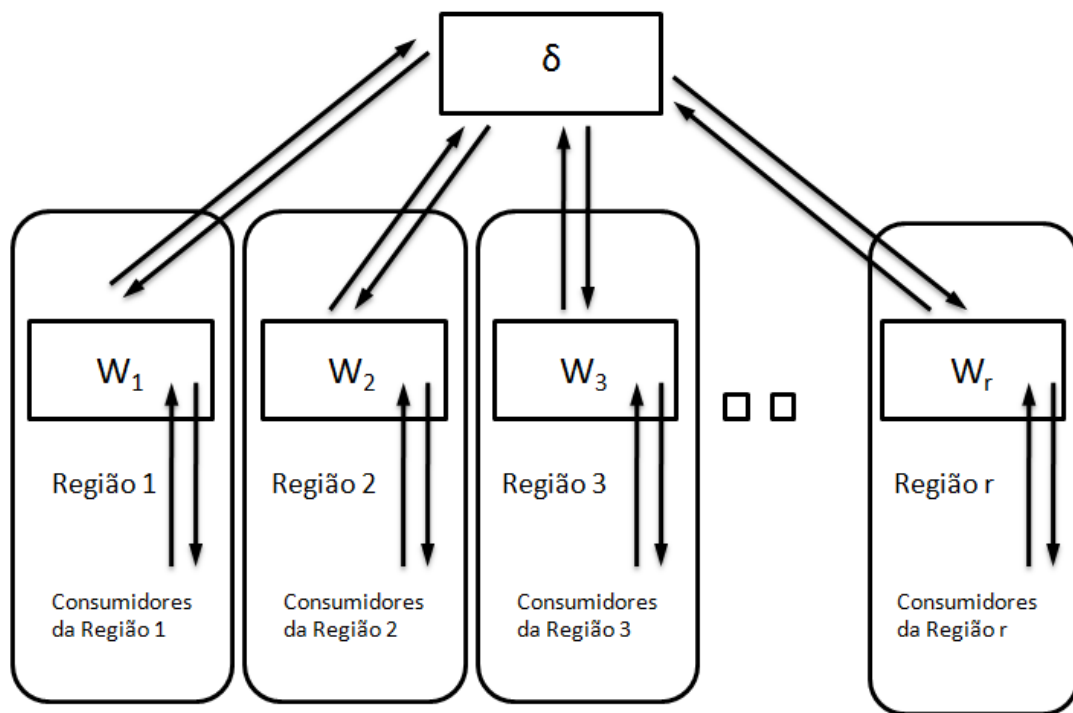


Figura 14 – Fluxo dos Veículos do Modelo Apresentado por Ambrosino et al.

Fonte: Ambrosino et al. (2009)

Os autores explicam que LRP são do tipo NP-difícil e que, por conta disto, é muito frequente o seu desenvolvimento por meio de heurísticas. Muitos métodos heurísticos estão baseados na decomposição do problema em subproblemas relacionados à localização e à roteirização.

Para mais informações da heurística desenvolvida por Ambrosino et al. leia-se seu artigo mencionado anteriormente e presente nas referências bibliográficas deste trabalho.

2.7. Transit Point

Transit Point (TP), segundo artigo publicado por Lacerda (2000), é caracterizado da maneira apresentada a seguir.

Transit Points são instalações localizadas perto de uma região de atendimento e distantes dos armazéns centrais. Os TPs recebem carregamentos consolidados que devem ser realocados em carregamentos menores para a realização da distribuição local. A principal característica do TP é que os produtos recebidos já têm seus destinos designados, ou seja, a nota fiscal já está em nome do cliente final e os produtos podem ser expedidos assim que forem separados. Essa

é a diferença mais relevante entre o TP e o *cross-docks*: no *cross-docks* a nota fiscal ainda deverá ser emitida.

O gerenciamento do TP é facilitado devido à inexistência de estocagem, tornando seu custo de manutenção relativamente baixo.

É fundamental, para a viabilidade de um TP, que exista um volume da carga suficiente para a consolidação de fretes com frequências regulares, caso contrário, o custo despendido com o transporte das mercadorias acaba por inviabilizar a sua utilização.

2.8. Geocodificação

Geocodificação é um assunto bastante recente e não é comumente citado na literatura.

Segundo o Departamento de Defesa dos Estados Unidos da América, o GPS (Sistema de Posicionamento Global) foi criado junto com o projeto NAVSTAR desenvolvido por ele na década de 60; porém, o GPS só foi entrar em funcionamento operacional em 1995. O GPS é uma tecnologia pública, podendo ser utilizada por qualquer indivíduo.

A partir do GPS é possível obter informações sobre a localização de pessoas, endereços ou objetos, meteorologia de uma determinada região, entre outras coisas. Hoje em dia, as informações sobre a localização de pontos são utilizadas, dentre diversas aplicações, em mapas virtuais, como é o caso do Google Maps, Apontador, Yahoo! Maps etc.

De acordo com Ballou (2006), a geocodificação – ou codificação geográfica – facilita o planejamento de rede e melhora a análise de decisões sobre transporte, fixação de instalações e decisões sobre estoques. Como os números da codificação geográfica – latitude e longitude – representam um ponto, sua manipulação matemática pode representar tempos e distâncias de viagens, ajudando na estimação de tarifas de transporte entre dois pontos.

Uma definição possível para Geocodificação está disponível no site do Google e é apresentada a seguir:

Geocodificação é o processo de conversão de endereços em coordenadas, que pode ser usado para colocar marcadores ou posicionar pontos em mapas

No presente trabalho foi utilizada a Geocodificação para mapear todos os pontos de entrega.

3. METODOLOGIA APLICADA

Esse capítulo será dedicado à metodologia aplicada neste trabalho. Será explicado sobre a composição da heurística adotada, o roteiro de sua modelagem, os cenários gerados, os modelos desenvolvidos, informando suas estruturas, os parâmetros utilizados e as premissas adotadas para a resolução de cada parte.

3.1. Definição da heurística

A heurística aqui desenvolvida tem, como objetivo, determinar a quantidade ótima de TPs que devem ser utilizados, suas localizações e respectivas coberturas.

A heurística desenvolvida é semelhante à heurística apresentada por Ambrosino et al. (2009). O problema será decomposto em algumas etapas, para realizar o cálculo separado dos custos de transferência, distribuição e movimentação e armazenagem. As etapas da heurística estão listadas a seguir:

1. Determinação das localizações dos TPs e as viagens cobertas por cada TP, em cada cenário, através de um modelo de P-medianas.
2. Roteirização das viagens e obtenção dos custos de distribuição através de um modelo TSP.
3. Cálculo dos custos de transferência através de um modelo linear inteiro.
4. Cálculo dos custos de armazenagem.
5. Cálculo dos custos finais.

3.1.1. Premissas e simplificações

Para a elaboração desta heurística foram adotadas algumas premissas importantes, que serão apresentadas agora.

Simplificação da nova viagem

Cluster é o nome escolhido pelo autor para representar os pontos de entrega atendidos em uma viagem.

Inicialmente, cada uma das 507 viagens realizadas pela Empresa X é composta por:

- Um ponto de partida, no caso o CD de Vinhedo ou o TP de Louveira e
- Um *cluster*.

Foi adotado pelo autor que, para os cenários propostos, as viagens serão compostas por:

- Um novo ponto de partida (um dos TPs encontrados pelo modelo de P-medianas) e
- Um dos *clusters* já definido anteriormente.

Com isso, os cenários do modelo permanecerão com 507 viagens e cada uma delas será realizada por apenas um veículo.

Devido ao grande número de entregas, não foi possível disponibilizar todos os dados referentes às entregas neste trabalho.

Porém, as posições geográficas dos pontos de atendimento levantados para as dez primeiras viagens estão disponíveis no Apêndice A. Este conta com a identificação de cada ponto – *cluster* ao qual o ponto pertence – latitude e longitude do ponto.

Já o Apêndice B é referente aos 507 *clusters* e conta com a identificação de cada *cluster*, assim como a latitude e longitude dos seus centroides, o número de entregas que compõe o *cluster* e a soma dos pesos das entregas.

Entregas Indiretas

Para simplificação da heurística, não haverá entregas diretas da fábrica. Cada entrega deve sair, obrigatoriamente, de um CD ou TP.

3.1.2. Cenários

A heurística foi rodada para cinco cenários gerados, que são:

M0 – Base

Foi criado o cenário base, que representa a rede logística atual da Empresa X e servirá como parâmetro de comparação entre as soluções encontradas.

Para este cenário foram utilizadas as localizações do CD de Vinhedo e do TP de Louveira e seus custos associados. As 507 viagens referentes ao mês de abril foram roteirizadas e seus custos calculados.

M1 – Um *Transit Point*

Cálculo dos custos considerando apenas um único TP no centroide da região atendida.

M2 – Dois *Transit Points*

Cálculo dos custos considerando dois TPs, posicionados nas medianas encontradas pelo modelo de P-medianas, onde $P = 2$.

M3 – Três *Transit Points*

Cálculo dos custos considerando três TPs, posicionados nas medianas encontradas pelo modelo de P-medianas, onde $P = 3$.

M4 – Quatro *Transit Points*

Cálculo dos custos considerando quatro TPs, posicionados nas medianas encontradas pelo modelo de P-medianas, onde $P = 4$.

3.1.3. Determinação dos Parâmetros Utilizados

As bases da Empresa X foram essenciais para a obtenção dos dados, deixando o modelo mais realista. A partir das bases foi possível obter os parâmetros a seguir mencionados.

Localização da Fábrica

A fábrica da Empresa X está situada no município de Poços de Caldas, no estado de Minas Gerais, na divisa com o estado de São Paulo. Sua localização será usada como parâmetro no modelo. A Tabela 2 traz a sua localização geográfica.

Tabela 2 – Geolocalização da Fábrica

Fábrica	
Latitude	Longitude
-21,7808	-46,6302

Localização do CD

O CD da Empresa X está situado no município de Vinhedo no estado de São Paulo. Sua localização será utilizada no modelo para o cenário M0, que servirá de base para o modelo. Sua localização geográfica está apresentada na Tabela 3:

Tabela 3 – Geolocalização do CD de Vinhedo

CD Vinhedo	
Latitude	Longitude
-23,0348	-46,9866

Localização do TP

Assim como o CD, o TP situado em Louveira, no estado de São Paulo, será utilizado para o cenário M0, que servirá de base para o modelo. Sua localização geográfica aparece na Tabela 4:

Tabela 4 – Geolocalização do TP de Louveira

TP Louveira	
Latitude	Longitude
-23,0867	-46,9495

Localização dos Pontos de Entrega

Por meio da utilização de um programa (ANEXO A), desenvolvido pelo professor Celso Hino em linguagem VBA e que utiliza informações tiradas da base do Google Maps, foi feita a geocodificação de todos os pontos de entrega da Empresa X. A precisão da geocodificação está apontada na Tabela 5.

Tabela 5 – Precisão da Geocodificação Realizada

Precisão	N° de Pontos	%
Alta	2468	96%
Média	1	0%
Baixa	109	4%
Total geral	2578	

Onde:

- **Alta Precisão:** É o endereço ou a rua do ponto de entrega.
- **Média Precisão:** Equivale aos cinco primeiros dígitos do CEP, que representam o bairro do ponto de entrega.
- **Baixa Precisão:** É o centroide da cidade do ponto de entrega.

Como mencionado anteriormente, por conta do alto volume de dados de entregas, eles não estão inteiramente disponíveis no atual trabalho e os dados das entregas realizadas pelas dez primeiras viagens estão dispostos no Apêndice A. Porém, caso haja o interesse em obtê-los integralmente, favor contatar o autor deste trabalho¹.

Dados das Viagens

Os seguintes dados das viagens referentes ao mês de abril de 2010 foram utilizados:

- Viagens realizadas e os pontos de entrega atendidos por cada viagem – 507 viagens no total e 2578 pontos de entrega atendidos.
- Centroide dos pontos de entrega de cada viagem, referenciados pelo autor como *Clusters*.
- Peso total transportado em cada viagem.
- Data da viagem.

Para aqueles que quiserem observar melhor os dados levantados, o Apêndice B apresenta os dados dos *clusters* das viagens, as latitudes e longitudes dos centroides dos *clusters*, o número de entregas realizadas na viagem e o peso total transportado.

Veículos Utilizados para Transferência

Os veículos utilizados para a transferência de produtos da fábrica para o CD de Vinhedo e para o TP de Louveira foram mantidos no modelo. Para a transferência da fábrica para o CD apenas a carreta é utilizada, enquanto que, para o TP, todos os veículos listados são utilizados. Os fretes utilizados representam os dados originais, porém foram alterados para manter sob sigilo o custo real da Empresa X, por tratar-se de informação estratégica e confidencial. Os

¹ Email do autor: fabiobres@gmail.com

dados dos veículos utilizados no modelo, como custo, capacidade e tipo de equipamento estão descritos na Tabela 6:

Tabela 6 – Custos e Capacidades dos Veículos Utilizados para Transferência

Veículo	Custo da Viagem (R\$/Viagem)	Capacidade (Toneladas)
CARRETA	R\$ 1.400,00	22,0
TRUCK	R\$ 800,00	10,8
TRUCK FRACIONADO	R\$ 600,00	7,5
TOCO	R\$ 560,00	6,5

Repare que o custo do frete é cobrado por viagem e que o valor do frete por tonelada diminui com o aumento da capacidade do veículo; esse fato é devido ao ganho de escala do veículo.

As viagens de transferência para o CD foram realizadas por carretas, pois devido à capacidade do CD de armazenar produtos, não há necessidade de mandar carregamentos diários, possibilitando a consolidação dos produtos no veículo com o frete por tonelada mais em conta, que é a carreta.

Veículos Utilizados para a Distribuição

A situação é semelhante para os fretes de distribuição. Os veículos utilizados no modelo serão os mesmos utilizados pela Empresa X. Os fretes utilizados no modelo foram alterados para garantir que os custos da Empresa X não fossem revelados. Observe os detalhes na Tabela 7:

Tabela 7 – Custos e Capacidades dos Veículos Utilizados para Distribuição

Veículo	Custo Fixo (R\$/Viagem)	Custo Variável (R\$/km)	MAX (Ton)
TOCO	R\$ 430,00	R\$ 0,92	6,0
LEVE	R\$ 340,00	R\$ 0,93	3,0
VUC	R\$ 310,00	R\$ 0,75	1,5
VAN	R\$ 230,00	R\$ 0,64	1,2

Custo do CD de Vinhedo

Para o CD de Vinhedo, que tem capacidade maior do que 600 toneladas movimentadas por mês, será adotado o seguinte custo, mostrado na Tabela 8:

Tabela 8 – Custos associados ao Centro de Distribuição

Custo Fixo	Custo Variável (R\$/ Ton)
R\$ 70.000,00	R\$ 65,00

Estes custos têm, como base, os custos reais gastos pela Empresa X e podem representá-los; porém, os custos reais não serão revelados neste trabalho.

Custos dos TPs

O custo de movimentação da carga em TP é significativamente menor do que o custo encontrado para o CD. Isso decorre do fato de não se utilizar espaço para armazenagem. Os custos adotados para os diferentes tamanhos de TP estão disponíveis na Tabela 9.

Tabela 9 – Custos Associados aos *Transit Points*

Movimentação do TP	Custo Variável (R\$/ Ton)
Abaixo de 100 Ton ao mês	R\$ 44,00
De 100 a 300 Ton ao mês	R\$ 40,00
Acima de 300 Ton ao mês	R\$ 38,00

3.2. Modelo de Localização (P-Mediana)

O primeiro modelo desenvolvido foi elaborado a partir de um modelo de P-mediana e tem, como objetivo, fornecer as futuras localizações dos TPs, assim como os pontos atendidos por cada TP.

3.2.1. Premissas adotadas

Para diminuir o tempo de processamento computacional, foi adotada a seguinte premissa:

- Para o cálculo das P-medianas, as entregas foram agregadas em centroides das entregas de cada viagem, denominados no item 3.1.1 de *clusters*. Observe a Figura 15, demonstrando esta agregação:

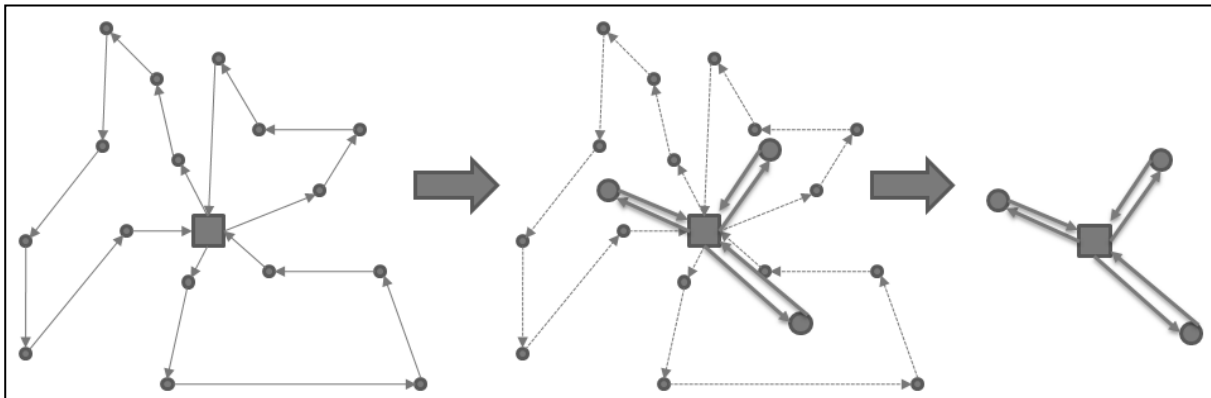


Figura 15 – Ilustração da Agregação Realizada para o Modelo de P-medianas

3.2.2. O Modelo

O modelo foi estruturado da seguinte maneira e resolvido através do programa “*What’s Best!*” dentro do programa Microsoft Excel:

Índices

i	...	Origem da viagem (mediana)
j	...	Destino da Viagem (nó)

Parâmetros

d_{ij}	...	Distância euclidiana associada à viagem de origem i e destino j
e_j	...	Número de entregas presentes na viagem para o destino j
Lat_i	...	Latitude da mediana i
Lon_i	...	Longitude da mediana i
Lat_j	...	Latitude do ponto do destino j
Lon_j	...	Longitude do ponto do destino j
p	...	Número de medianas procuradas
n	...	Número de pontos atendidos

Variáveis

x_{ij} ... Matriz de alocação

Conjuntos

$$P = \{1, \dots, p\}$$

$$N = \{1, \dots, n\}$$

Função Objetivo

$$\text{Min } \sum_{i \in P} \sum_{j \in N} e_j d_{ij} x_{ij} \quad (3.1)$$

Restrições

- Restrição de atendimento da demanda

$$\sum_{i \in P} x_{ij} = 1; \quad \forall j \in N; \quad (3.2)$$

- Binárias

$$x_{ij} \begin{cases} = 1, \text{ se o destino } j \text{ for alocado a mediana } i \\ = 0, \text{ caso contrário} \end{cases} \quad (3.3)$$

3.2.3. Detalhamento do Modelo

A função objetivo (3.1) é composta pela somatória do número de encomendas contidas na viagem j multiplicado pela distância do centroide da viagem j até o a mediana i multiplicada pela variável de alocação da mediana i ao destino j .

A distância utilizada para este modelo foi a distância euclidiana e podemos definir essa distância como sendo:

$$d_{ij} = \sqrt{(Lat_i - Lat_j)^2 + (Lon_i - Lon_j)^2}; \quad \forall i \in P; \forall j \in N; \quad (3.4)$$

onde Lat_i , que é a média das latitudes dos centroides dos pontos alocados a ela ponderada pelo número de entregas contidas em cada centroide, é descrito pela equação (3.5):

$$Lat_i = \frac{\sum_{j \in N} Lat_j * x_{ij} * e_j}{\sum_{j \in N} x_{ij} * e_j} \quad \forall i \in P; \quad (3.5)$$

E onde Lon_i , que é a média das longitudes dos centroides dos pontos alocados a ela ponderada pelo número de entregas contidas em cada centroide, é descrito pela equação (3.6):

$$Lon_i = \frac{\sum_{j \in N} Lon_j * x_{ij} * e_j}{\sum_{j \in N} x_{ij} * e_j} \quad \forall i \in P; \quad (3.6)$$

Diferentemente do modelo P-medianas mostrado no item 2.4, onde são escolhidos P pontos dentre os N pontos de entrega para alocar um TP, o modelo proposto, mostrado na seção anterior, estuda como os centroides devem ser ordenados de modo que as latitudes e longitudes geradas para as medianas resultem na menor função objetivo.

Isso faz com que o modelo passe a se portar como um modelo contínuo e não mais discreto.

Mais uma vez esse problema é do tipo NP-Difícil e o número de soluções possíveis é definido pela equação (3.7):

$$N^{\circ} \text{ Soluções} = P^N; \quad (3.7)$$

Nas três próximas figuras pode ser observada a estrutura do modelo proposto para o cenário com três medianas. No Apêndice C está disposta uma figura maior da visão geral do modelo.

Função Objetivo

2.840,73

Lat TP

Lon TP

TP122,78403147,292680

TP223,08077547,197982

TP322,89014047,225246

N° de Entregas

Lat Cluster

Lon Cluster

Variáveis de Alocação

Restrição de Atendimento

Custo (Distância)

4022,73729347,327866100112,34- -

4022,71603847,645999100114,39- -

4022,73123747,33352810012,67- -

4022,67935947,670672100115,69- -

4023,10085447,218779100113,01- -

4022,57505847,432131100110,05- -

4022,93935347,064992100111,02- -

4023,08205147,1997830011- -7,74

4022,74595447,3366520011- -7,29

4022,93541047,1277300011- -4,30

4022,88100747,0657500011- -6,39

4022,95248947,1409960011- -4,19

4023,09892747,2155030011- -8,36

4022,94239147,0659510011- -6,71

4023,08077547,1979820101- - -

4022,93438447,1303310011- -4,19

4022,92652147,1204990011- -4,44

Figura 16 – Visão Geral do Modelo de Localização

Função Objetivo		
2.840,73		

	Lat TP	Lon TP
TP1	22,784031	47,292680
TP2	23,080775	47,197982
TP3	22,890140	47,225246

Figura 17 – Detalhe dos Parâmetros de Latitude e Longitude das Medianas e da Função Objetivo

Variáveis de Alocação			Restrição de Atendimento			Custo (Distância)			
1	0	0	1	✓	=	1	2,34	-	-
1	0	0	1	✓	=	1	14,39	-	-
1	0	0	1	✓	=	1	2,67	-	-
1	0	0	1	✓	=	1	15,69	-	-
1	0	0	1	✓	=	1	13,01	-	-
1	0	0	1	✓	=	1	10,05	-	-
1	0	0	1	✓	=	1	11,02	-	-

Figura 18 – Detalhe das Primeiras Variáveis de Alocação, das Restrições de Atendimento e das Distâncias

3.3. Modelo de Roteirização (TSP)

A segunda parte da heurística será realizada a partir de um modelo de TSP (*Travelling Salesman Problem*), ou, em português, Problema do Caixeiro Viajante, que, com base nos pontos obtidos por meio do modelo de P-medianas, essa heurística dar-nos-á os custos associados à roteirização da distribuição para cada cenário analisado.

3.3.1. Premissas Adotadas

Para que o problema seja resolvido por TSP, um único caminhão deverá atender um conjunto de pontos de entregas.

Como mencionado no item 3.1.1, os pontos de entrega inicialmente pertencentes à mesma viagem, e que definem um *cluster*, permanecerão os mesmos, sendo apenas alterado o ponto a partir do qual serão atendidos.

Como cada *cluster* foi, originalmente, roteirizado por um veículo, adotou-se a mesma conduta. Por conta disto, a resolução terá sido feita por TSP.

3.3.2. O Modelo

Partindo do modelo apresentado no item 2.5.3, foi formulado um outro modelo TSP da seguinte maneira:

Índices

i	...	Ponto de Origem (TP)
j	...	Ponto de Destino (pontos de entrega)

Parâmetros

n	...	Número de pontos a serem atendidos, onde o ponto 1 representa o TP e os pontos de 2 a n representam as localidades dos pontos de entrega
c_{ij}	...	Custo associado ao trecho do ponto i ao ponto j .
S	...	Subgrafo qualquer do problema, excluindo o centro de distribuição

Variáveis

$$x_{ij} \begin{cases} = 1, \text{ caso o arco } ij \text{ é percorrido} \\ = 0 \text{ caso contrário} \end{cases}$$

u_{ij} ... Variável auxiliar para eliminação de subciclo

Conjuntos

$$N = \{1, \dots, n\};$$

$$C = \{2, \dots, n\};$$

Função Objetivo

$$\text{Min } \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} c_{ij} x_{ij} \quad (3.8)$$

Restrições

Restrição de fluxo

$$\sum_{i \in C} x_{ij} = 1; \quad \forall j \in C; \quad (3.9)$$

$$\sum_{j \in C} x_{ij} = 1; \quad \forall i \in C; \quad (3.10)$$

Restrições de subciclos

$$u_i - u_j + n * x_{ij} \leq n - 1; \quad i \neq j; \quad \forall i, j \in C; \quad (3.11)$$

Restrições binárias

$$x_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall i, j \in N; \quad (3.12)$$

Restrições para variáveis positivas

$$u_{ij} \geq 0 \quad \forall i \in N; \quad (3.13)$$

3.3.3. Detalhamento do Modelo

Na função objetivo (3.8), c_{ij} é o custo associado ao trecho do ponto i ao ponto j e pode ser escrita da seguinte maneira:

$$c_{ij} = 1,23 * D_{A-B} \quad (3.14)$$

onde 1,23 é o fator médio de circuito para o Brasil apresentado por Ballou (2006, pág. 497). D_{A-B} é a distância geodésica entre o ponto A e o ponto B, representada pela seguinte equação, (Ballou, 2006, pág. 496):

$$D_{A-B} = 6340 * \text{acos}(\sin(\text{Lat A}) * \sin(\text{Lat B}) + \cos(\text{Lat A}) * \cos(\text{Lat B}) * \cos(|\text{Long B} - \text{Long A}|)) \quad (3.15)$$

A função objetivo tem, como meta, a obtenção da distância mínima da viagem realizada para atender a toda a demanda dos clientes.

O conjunto de restrições (3.9) e (3.10) são restrições de fluxo, garantindo que o carregamento que entra em um ponto, necessariamente tem que sair dele, impedindo que a rota termine num ponto que não seja o CD.

Um dos conjuntos de restrições mais importantes é o conjunto (3.11) que elimina o aparecimento de subciclos na resposta.

As restrições (3.12) e (3.13) tornam as variáveis x_{ij} binárias e u_{ij} positivas.

O modelo, mostrado no item anterior, foi inicialmente desenvolvido para ser resolvido pelo *software* “*What’s Best!*”; porém, devido à dificuldade computacional de resolução dos modelos através deste *software*, foi decidida a utilização do *software* “GAMS 23.0”.

A geração dos modelos e do arquivo com os parâmetros de entrada, para cada viagem de cada cenário foi feita através de uma macro em VBA desenvolvida pelo aluno.

Os 507 modelos para cada cenário foram rodados a partir de um arquivo do tipo “.BAT”, o que tornou possível a resolução de um modelo após o outro, sem a necessidade de intervenção do autor deste trabalho.

Exemplos da estrutura do modelo escrito em GAMS, e de entrada e de saída estão disponíveis no Apêndice D, Apêndice E e no Apêndice F.

3.4. Modelo usado para Transferência

Como mencionado anteriormente, as transferências para o CD serão consolidadas e transportadas por carretas. O cálculo deste custo é simples e não necessita de um modelo de otimização para ser resolvido. Basta aplicar a seguinte equação:

$$\text{Custo de Transferência para CD} = N^{\circ} \text{ de Caminhões} * \text{Frete Carreta} \quad (3.16)$$

onde:

$$N^{\circ} \text{ de Caminhões} \cong \frac{\text{Peso Total Transportado}}{\text{Capacidade da Carreta}} \quad (3.17)$$

Para as demais transferências é preciso calcular o número e os tipos de veículos necessários para transferir os produtos, diariamente, aos TPs.

Para isso, foi elaborado um modelo linear inteiro, que tem como objetivo devolver o custo otimizado associado à transferência dos produtos.

A estrutura do modelo resolvido em “*What’s Best!*” encontra-se a seguir.

3.4.1. Premissas

Foram adotados os fretes disponíveis na Tabela 6 – Custos e Capacidades dos Veículos Utilizados para Transferência, para todos os destinos, sem exceção.

3.4.2. O Modelo

Índices

i	...	Modelo do Veículo $i = \{1, 2, 3, 4\}$
j	...	TP de Destino $j = \{1, \dots, n\}$, onde n é o número de TPs.
t	...	data da transferência $t = \{1, \dots, 24\}$

Parâmetros

Q_i	...	Capacidade do veículo modelo i
C_i	...	Custo da viagem do veículo modelo i

D_j^t ... Demanda/Peso na data t do TP j

Variáveis

x_{ij}^t ... Quantidade de veículos modelo i utilizados para transferência para j na data t

Função Objetivo

$$\text{Min } \sum_i \sum_j \sum_t C_i x_{ij}^t \quad (3.18)$$

Restrições

Atendimento da demanda

$$\sum_i x_{ij}^t Q_i \geq D_j^t; \quad \forall j, t; \quad (3.19)$$

Variáveis Naturais (Inteiras maiores ou iguais a zero)

$$x_{ij}^t \in \mathbb{N}; \quad (3.20)$$

3.4.3. Detalhamento do Modelo

A função objetivo (3.18) tem, como objetivo, minimizar o custo de transferência da fábrica para os TPs, escolhendo da melhor forma os modelos e as quantidades dos veículos que devem ser utilizados para tal.

Nas cinco figuras mostradas a seguir pode ser observado como foi estruturado o modelo no “*What’s Best!*” dentro do Microsoft Excel.

		Variáveis de Decisão				Alocação de Veículos	
Data	Peso (kg)	TRUCK				TOCO	
		CARRETA	TRUCK	FRACIONADO			
01/04/2010	6056,7	0	0	0		1	
03/04/2010	15729,38	0	1	0		1	
05/04/2010	33377,81	1	0	0		2	
06/04/2010	25508,42	1	0	0		1	
07/04/2010	24124,63	1	0	0		1	

Figura 19 – Visualização das Primeiras Variáveis de Decisão do Modelo de Transferência

Custos Calculados							
CARRETA	TRUCK	TRUCK		FRACIONADO		TOCO	Total
R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ 560	R\$ 560
R\$ -	R\$ 800	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ 560	R\$ 1.360
R\$ 1.400	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ 1.120	R\$ 2.520
R\$ 1.400	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ 560	R\$ 1.960
R\$ 1.400	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ 560	R\$ 1.960

Figura 20 – Visualização dos Primeiros Custos do Modelo de Transferência

Capacidade Utilizada					Restrições de Capacidade		
CARRETA	TRUCK	TRUCK		TOCO	Soma		Dem.
0	0			0 6500	6500	≥	6057
0	10800			0 6500	17300	≥	15729
22000	0			0 13000	35000	≥	33378
22000	0			0 6500	28500	≥	25508
22000	0			0 6500	28500	≥	24125

Figura 21 – Visualização das Primeiras Capacidades Utilizadas do Modelo de Transferência

Capacidade				
CARRETA	TRUCK	TRUCK		TOCO
22000	10800			7500 6500

Custos				
CARRETA	TRUCK	TRUCK		TOCO
R\$ 1.400	R\$ 800,00	R\$ 600,00	R\$ 560,00	

Figura 22 – Visualização dos Parâmetros do Modelo de Transferência

F.O	
R\$	70.680

Figura 23 – Visualização da Função Objetivo do Modelo de Transferência

4. RESULTADOS OBTIDOS

Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos pelos modelos de localização, roteirização e de transferência dos produtos para cada cenário. A partir destes resultados será possível identificar as localidades dos TPs para cada cenário, e consolidar os gastos com distribuição, transferência e armazenagem para identificação do melhor cenário.

4.1. Localização

O modelo de localização foi rodado em um computador com a seguinte configuração: Computador com 4 GB de memória RAM, processador Intel Core 2 Duo de 2.8 GHz e Sistema Operacional Windows 7 (x64).

Cenário M1

As latitudes e longitudes encontradas para o cenário M1 referem-se à localização de apenas um *Transit Point*. Na Figura 24 é apresentada parte dos dados de saída do modelo, onde podemos observar o resultado da função objetivo e a latitude e a longitude do TP1.

Função Objetivo		
2.868,26		
	Lat TP	Lon TP
TP1	-22,795583	-47,285691
Nº de Entregas	Lat Cluster	Lon Cluster
40 -	22,737293	47,327866
40 -	22,716038	47,645999
40 -	22,731237	47,333528
40 -	22,679359	47,670672
40 -	23,100854	47,218779
40 -	22,575058	47,432131

Figura 24 – Saída do Modelo P-medianas para o Cenário M1

Como era de se esperar, devido ao fato de existir apenas um TP, a resolução foi instantânea e todos os *clusters* foram alocados a esse TP, como mostra a Tabela 10.

Tabela 10 – Número de Viagens Atendidas pelo TP1

TP	Município	Latitude	Longitude	Nº de Viagens
1	Nova Odessa	-22,795583	-47,285691	507

Na Figura 25 é possível visualizar a nova distribuição dos produtos. Repare que o ponto escolhido pelo modelo está localizado no município de Nova Odessa e que o ponto está no centroide da rede de distribuição, embora haja pontos muito distantes do TP, inclusive distâncias maiores do que 100 quilômetros.

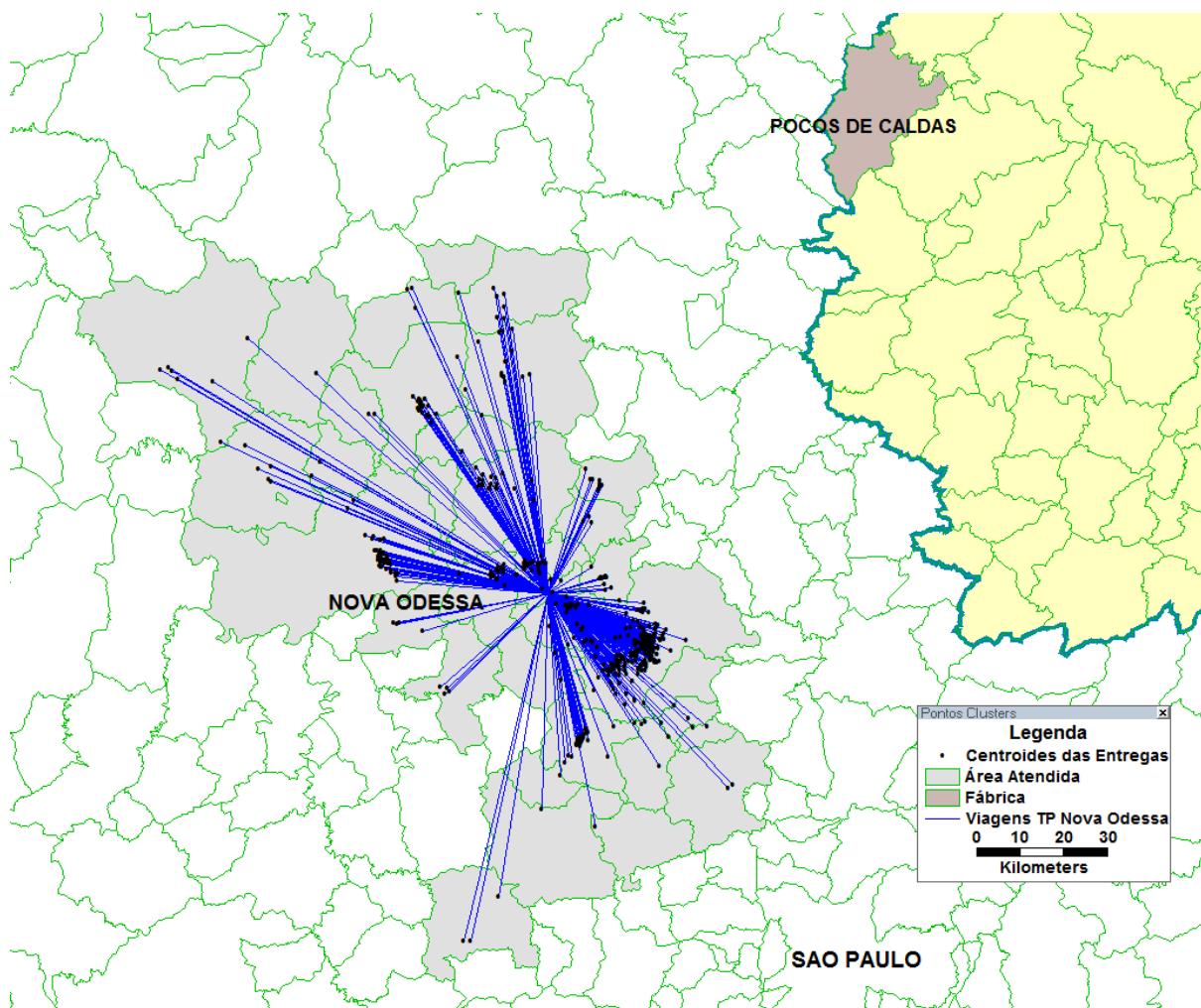


Figura 25 – Solução Gráfica para o Cenário M1

Cenário M2

As latitudes e longitudes encontradas para o cenário M2 referem-se à localização de dois *Transit Points*. Na Figura 26 é apresentada parte dos dados de saída do modelo, onde podemos observar o resultado da função objetivo e as latitudes e a longitudes dos TP1 e TP2. Podemos perceber que o fato de existirem dois TPs, ao invés de um, diminuiu bruscamente a função objetivo.

Função Objetivo		
1.567,08		

	Lat TP	Lon TP
TP1	-22,591749	-47,539342
TP2	-22,922566	-47,127675

Nº de Entregas	Lat Cluster	Lon Cluster
40 -	22,737293	-47,327866
40 -	22,716038	-47,645999
40 -	22,731237	-47,333528
40 -	22,679359	-47,670672
40 -	23,100854	-47,218779

Figura 26 – Saída do Modelo P-medianas para o Cenário M2

Devido à grande concentração de pontos atendidos no município de Campinas, o TP2 que está localizado nesta cidade recebeu uma grande parte das viagens, cerca de 65%; este resultado pode ser visto na Tabela 11.

Tabela 11 – Número de Viagens Alocadas a cada TP no Cenário M2

TP	Município	Latitude	Longitude	Nº de Viagens
1	Iracemápolis	-22,591749	-47,539342	179
2	Campinas	-22,922566	-47,127675	328

Na Figura 27 é possível visualizar a nova distribuição dos produtos. Repare que os pontos escolhidos pelo modelo estão localizados nos municípios de Iracemápolis e Campinas e que a área de cobertura de um TP não invade a área de cobertura do outro. Pode-se perceber que o TP de Iracemápolis não está em uma região com muitas entregas; na verdade, não há nenhum *cluster* dentro de um raio de 10 km, diferentemente do TP de Campinas, onde 193 *clusters* – cerca de 59% dos *clusters* atendidos pelo TP – distam menos de 10 km.

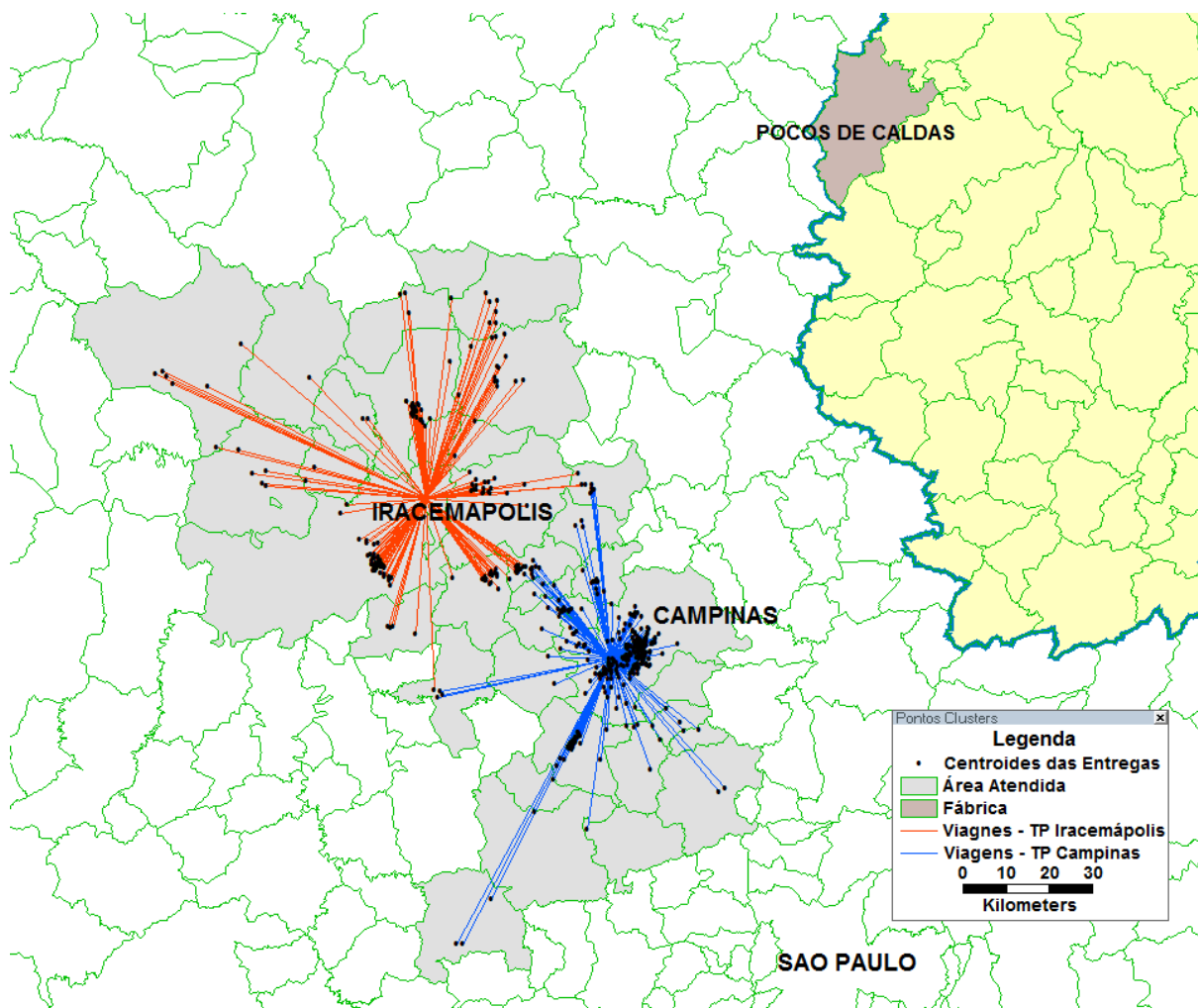


Figura 27 – Solução Gráfica para o Cenário M2

Cenário M3

As latitudes e longitudes encontradas para o cenário M3 referem-se à localização de três *Transit Points*. Na Figura 28 é apresentada parte dos dados de saída do modelo, onde podemos observar o resultado da função objetivo e as latitudes e longitudes dos TP1, TP2 e

TP3. Mais uma vez, a função objetivo teve uma boa melhora em relação à resposta encontrada no cenário M2.

Função Objetivo		
1.267,44		

	Lat TP	Lon TP
TP1	- 22,553219	-47,396381
TP2	- 22,682811	-47,710084
TP3	- 22,932812	-47,117619

Nº de Entregas	Lat Cluster	Lon Cluster
40	- 22,737293	-47,327866
40	- 22,716038	-47,645999
40	- 22,731237	-47,333528
40	- 22,679359	-47,670672
40	- 23,100854	-47,218779

Figura 28 – Saída do Modelo P-medianas para o Cenário M3

Pela segunda vez seguida, devido à grande concentração de pontos atendidos no município de Campinas, o TP3, que aí está localizado, recebeu uma grande parte das viagens – cerca de 61% das viagens; já o segundo a receber mais viagens foi o TP1, localizado no município de Limeira, ao qual cerca de 24% das viagens foram alocadas. Com 15% das viagens ficou o TP2, localizado no município de Piracicaba.

Observe os valores na Tabela 12:

Tabela 12 – Número de Viagens alocadas a cada TP no Cenário M3

TP	Município	Lat	Lon	Nº de Viagens
1	Limeira	-22,553219	-47,396381	121
2	Piracicaba	-22,682811	-47,710084	78
3	Campinas	-22,932812	-47,117619	308

Na Figura 29 é possível visualizar a nova distribuição dos produtos. Repare que os pontos escolhidos pelo modelo estão localizados nos municípios de Limeira, Piracicaba e Campinas e que a área de cobertura de um TP não invade a área de cobertura de outro. Pode-se perceber

que o TP de Iracemápolis do cenário anterior dividiu-se, formando o TP de Limeira e o de Piracicaba. Já o TP localizado em Campinas está a menos de dois quilômetros da localização do TP de Campinas do cenário M2, permanecendo com a maioria clusters atendidos por ele.

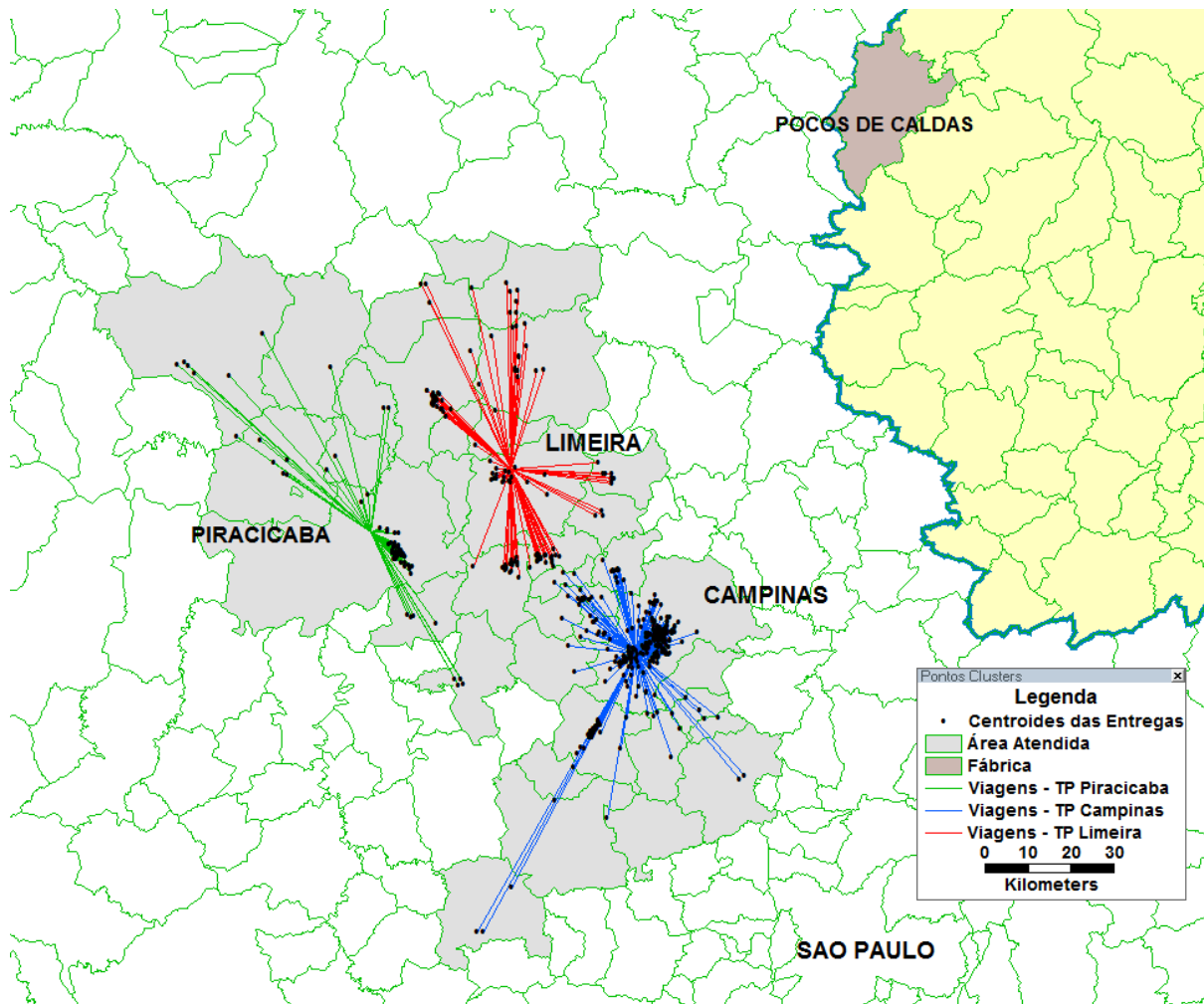


Figura 29 – Solução Gráfica para o Cenário M3

Cenário M4

As latitudes e longitudes encontradas para o cenário M4 referem-se à localização de quatro *Transit Points*. Na Figura 30 é apresentada parte dos dados de saída do modelo, onde podemos observar o resultado da função objetivo e as latitudes e a longitudes dos TP1, TP2, TP3 e TP4. Como era de se esperar, a função objetivo do cenário M4 teve uma melhora em relação à resposta encontrada no cenário M3; porém, essa melhora em números absolutos é a menor encontrada entre os cenários.

Função Objetivo		
1.072,46		

	Lat TP	Lon TP
TP1	-22,421489	-47,463022
TP2	-22,662743	-47,725176
TP3	-22,752324	-47,296958
TP4	-22,948728	-47,106939

Nº de Entregas	Lat Cluster	Lon Cluster
40 -	22,737293	-47,327866
40 -	22,716038	-47,645999
40 -	22,731237	-47,333528
40 -	22,679359	-47,670672
40 -	23,100854	-47,218779

Figura 30 – Saída do Modelo P-medianas para o Cenário M4

Em três dos quatro cenários rodados, um TP em Campinas foi aberto. Em todos os cenários em que esteve presente, o TP de Campinas foi o que recebeu o maior número de viagens. Isso mostra o quão significativo é o mercado de Campinas nesta rede de distribuição. Neste último cenário, cerca de 55% das viagens foi alocado ao TP desta cidade, cerca de 18% para um TP localizado em Americana, 14% para um TP localizado em Piracicaba e 13% para um TP localizado em Cordeirópolis.

Observe os valores na Tabela 13:

Tabela 13 – Número de Viagens Alocadas a cada TP do Cenário M4

TP	Município	Lat	Lon	Nº de Viagens
1	Cordeirópolis	-22,421489	-47,463022	68
2	Piracicaba	-22,662743	-47,725176	72
3	Americana	-22,752324	-47,296958	90
4	Campinas	-22,948728	-47,106939	277

Na Figura 31 é possível visualizar a nova distribuição dos produtos. Repare que os pontos escolhidos pelo modelo estão localizados nos municípios de Cordeirópolis, Piracicaba, Americana e Campinas e que a área de cobertura de um TP não invade a área de cobertura de

outro. Percebe-se que o TP de Limeira do cenário anterior, dividiu-se, formando o TP de Cordeirópolis e o de Americana, e que o TP de Americana englobou algumas das viagens que antes pertenciam aos TPs de Campinas e Piracicaba. Já os TPs localizados em Campinas e Piracicaba permaneceram próximos à localização dos respectivos TPs do cenário M3, mantendo a maioria *clusters* atendidos por eles.

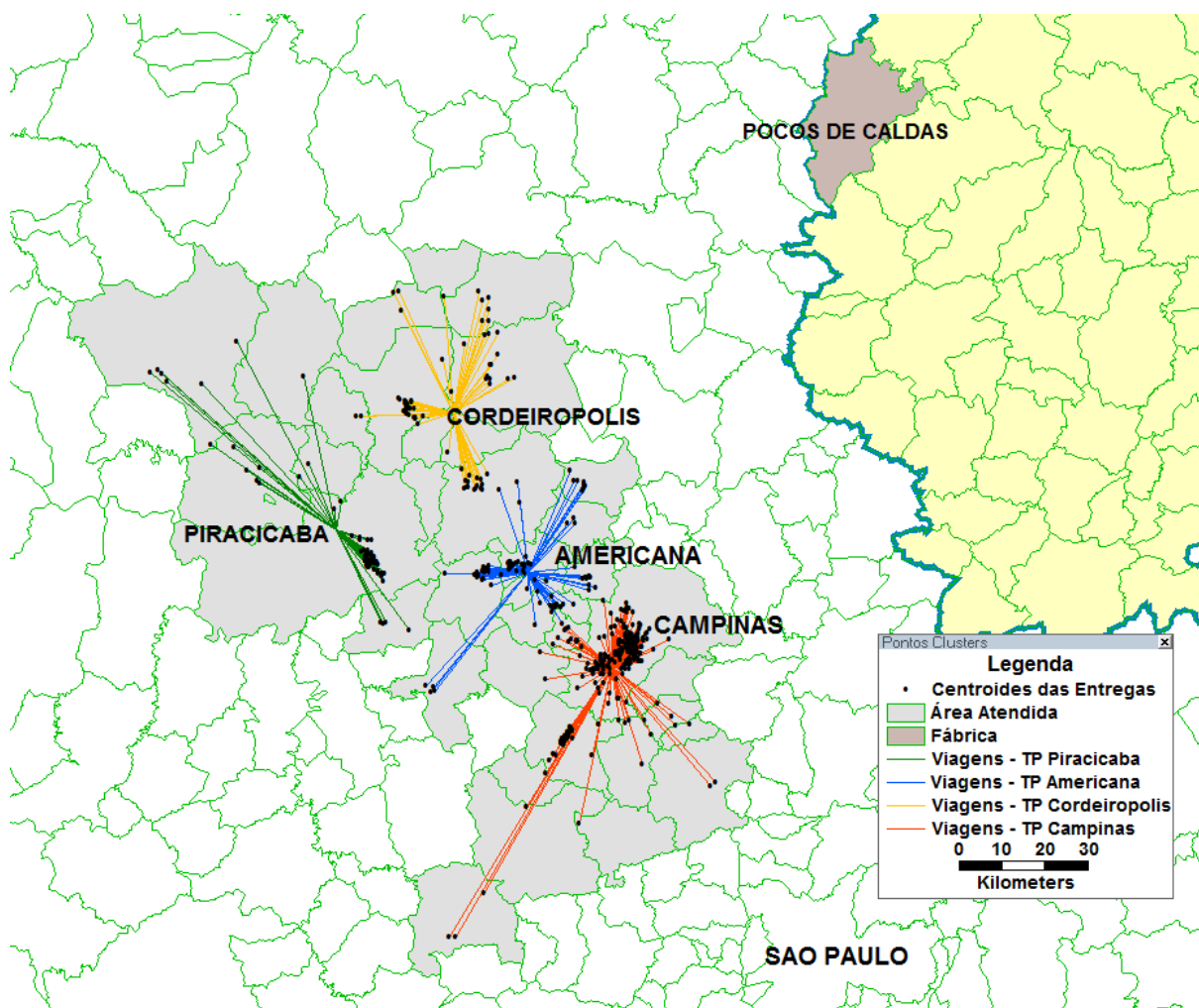


Figura 31 – Solução Gráfica para o Cenário M4

4.1.1. Resumo das Funções Objetivo de Cada Cenário

Para melhor visualização dos resultados das funções objetivo foi elaborada a Tabela 14, que traz as funções objetivo de cada cenário e a redução do seu valor com o incremento do número de TPs.

Tabela 14 – Funções Objetivo dos Cenários

Cenário	F.O.	Redução da F.O. em Relação ao Cenário Anterior
M1	2.868,26	N.A.
M2	1.567,09	1.301,18
M3	1.267,44	299,64
M4	1.072,46	194,46

Podemos também visualizar esses dados por meio da Figura 32. Observe:

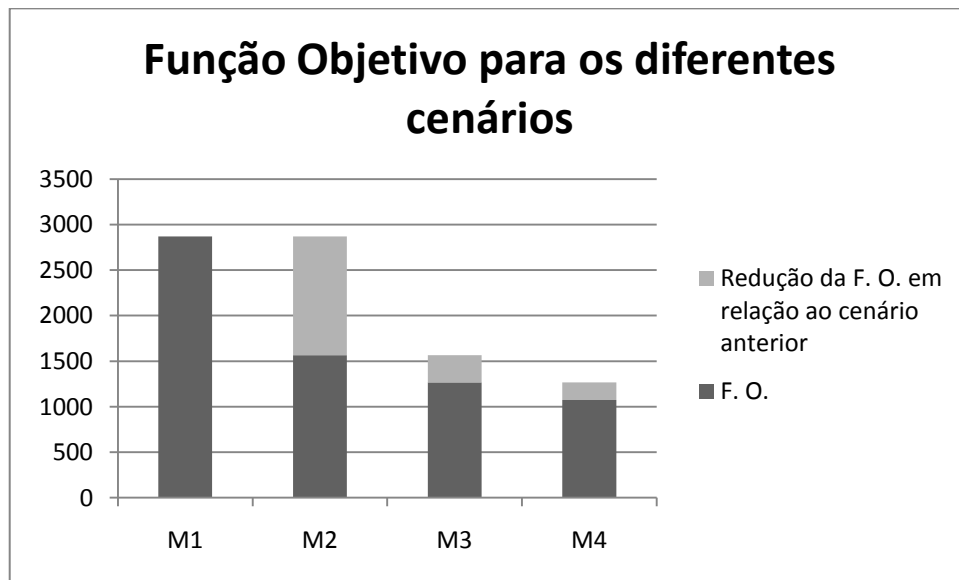


Figura 32 – Função Objetivo e Redução da F.O. para os Diferentes Cenários

4.2. Roteirização

Foram rodados, no total, 2.535 modelos correspondentes aos 507 modelos de cada um dos cinco cenários do problema. Cada modelo representa uma viagem roteirizada.

Os desempenhos computacionais, assim como os resultados de cada cenário e a exatidão do modelo, estão descritos nos itens a seguir.

4.2.1. Desempenho Computacional

Nessa seção serão apresentados os tempos de processamento dos cinco cenários rodados pelo modelo, sendo o primeiro cenário, M0, referente à malha logística atual da empresa.

Os cenários foram rodados no laboratório de estudos de GEE (Gases de Efeito Estufa), do Departamento de Engenharia de Produção da Poli – USP. Foram utilizadas três máquinas em paralelo com a configuração mostrada na Tabela 15.

Tabela 15 – Configuração dos Computadores Utilizados

PC	Memória (GB)	Processador	Velocidade do Processador (GHz)	Sistema Operacional
1	2	Core 2 Duo	2,66	Windows Vista (x32)
2	7	Core 2 Quad	2,33	Windows Vista (x64)
3	8	Core 2 Duo	2,5	Windows 7 (x64)

Foi estipulado um tempo limite de processamento de 20 minutos para cada roteirização. No caso desse limite ser atingido, o programa GAMS retorna, a melhor resposta encontrada até aquele momento e começa a rodar o modelo seguinte. Caso a solução ótima do problema tenha sido encontrada antes do tempo limite ser atingido, o programa retorna tal solução e começa a rodar o próximo modelo.

Para informar se o tempo limite de processamento é atingido, o GAMS retorna um número que representa o status do solver para aquele modelo. A Tabela 16 apresenta alguns dos status que o programa GAMS pode retornar e qual o seu significado.

Tabela 16 – Status do Solver Emitido pelo GAMS e seu Significado

Fonte: Tradução realizada pelo autor do Manual do Usuário GAMS

Status do Solver	Significado
1	O solver terminou a execução de forma normal.
2	O solver foi interrompido porque excedeu o número de iterações.
3	O solver foi interrompido porque excedeu o limite de tempo por problemas internos.
4	O solver encontrou dificuldades e não conseguiu prosseguir.
5	Excedeu o número de variáveis não-lineares.
6	O solver não tem a capacidade requerida pelo modelo para resolvê-lo.
7	O solver não encontrou a licença requerida para execução de um determinado sub-solver.
8	O usuário interrompeu a execução.
...	...

Dos modelos que foram rodados, 61% obtiveram a solução ótima, enquanto 39% excederam o tempo limite. Como pode ser observado na Tabela 17 .

Tabela 17 – Status do Solver Emitido pelo GAMS para o Problema

Status do Solver	1	3
M0	307	200
M1	302	205
M2	303	204
M3	322	185
M4	308	199
Total	1542	993
%	61%	39%

Para informar o tipo de resposta obtida pelo modelo rodado, o GAMS retorna um número que representa o status da resposta do modelo. A Tabela 18 apresenta alguns dos status que o programa GAMS pode retornar e qual o seu significado.

Tabela 18 – Status do Modelo Emitido pelo GAMS e seu Significado

Fonte: Tradução realizada pelo autor do Manual do Usuário GAMS

Status do modelo	Significado
1	A solução encontrada é ótima.
2	Uma solução local ótima foi encontrada.
3	A solução encontrada é ilimitada.
4	O problema linear é infactível.
5	Nenhuma resposta factível pode ser encontrada para o problema não linear.
6	A solução até então é infactível, porém o programa parou.
7	Não é uma solução completa, mas aparenta ser factível.
8	Uma solução inteira foi encontrada.
...	...

Todos modelos que terminaram antes do tempo limite retornaram a solução ótima, como era de se esperar. Todos os modelos que excederam o limite de tempo encontraram uma solução inteira e retornaram essa solução. Isso significa que nenhum problema foi retornado sem solução. Na Tabela 19 é possível ver a quantidade de modelos com solução ótima e a quantidade de modelos retornados com uma solução inteira, sem a comprovação de que é a solução ótima ou não.

Tabela 19 – Status do Modelo Emitido pelo GAMS para o Problema

Status do Modelo	1	8
M0	307	200
M1	302	205
M2	303	204
M3	322	185
M4	308	199
Total	1542	993
%	61%	39%

A Figura 33 traz os cinco histogramas dos cenários rodados, mostrando a frequência dos tempos de processamento necessários para resolver os problemas.

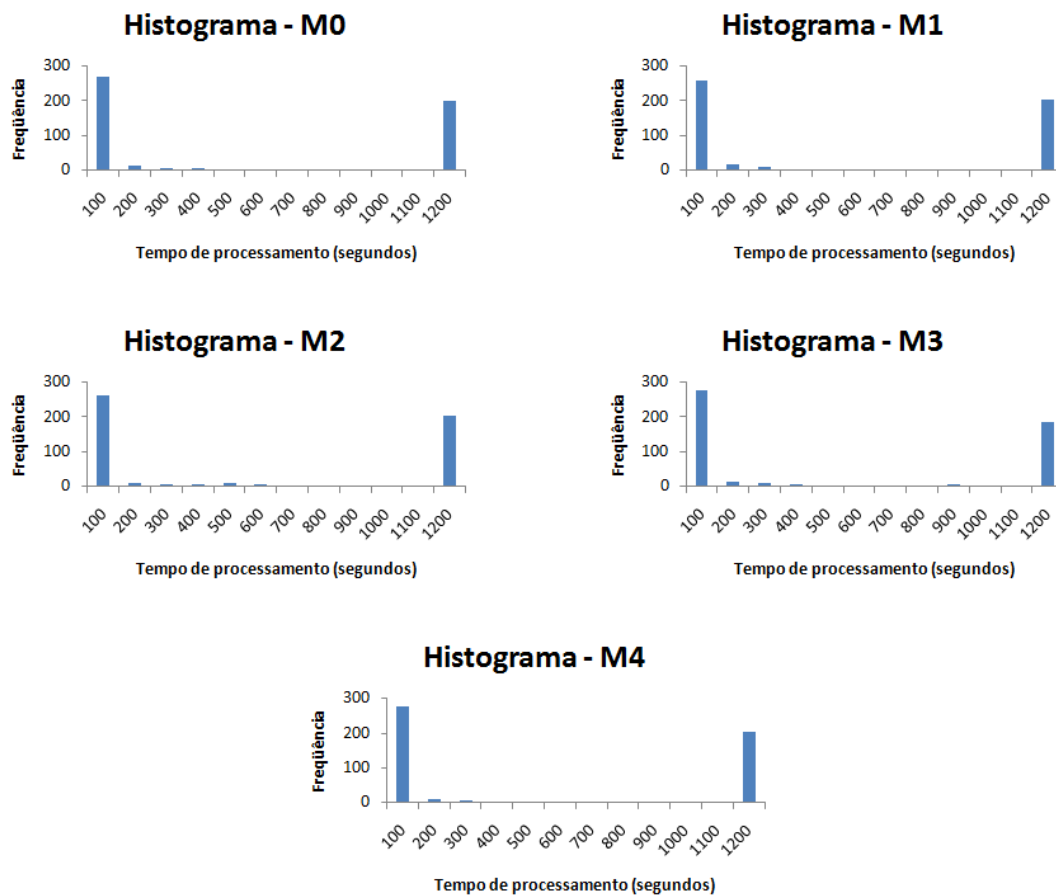


Figura 33 – Histogramas de cada Cenário dos Tempos Processados

O tempo total despendido para rodar todos modelos foi de cerca de 15 dias. Foram necessários, aproximadamente, três dias para rodar cada cenário. Em média, cada viagem necessitou de 8 minutos e 40 segundos para ser roteirizada. Com a utilização das três máquinas, esse tempo foi reduzido para cinco dias. Observe os tempos despendidos para a roteirização na Tabela 20.

Tabela 20 – Tempo Despendido para Realização da Roteirização

Cenário	Tempo despendido			
	Segundos	Minutos	Horas	Dias
M0	255.045	4.251	70,8	3,0
M1	261.362	4.356	72,6	3,0
M2	263.666	4.394	73,2	3,1
M3	242.477	4.041	67,4	2,8
M4	254.935	4.249	70,8	3,0
Total	1.277.485	21.291	354,8	14,8

4.2.2. Resultados Obtidos

Para obtenção dos custos levou-se em conta a Tabela 7 – Custos e Capacidades dos Veículos Utilizados para Distribuição – presente na página 68. Os custos podem ser, mais uma vez, observados na Tabela 21, logo adiante.

Tabela 21 – Custos e Capacidades dos Veículos Utilizados para a Distribuição

Veículo	Custo Fixo (R\$/Viagem)	Custo Variável (R\$/km)	MAX (Ton)
TOCO	R\$ 430,00	R\$ 0,92	6,0
LEVE	R\$ 340,00	R\$ 0,93	3,0
VUC	R\$ 310,00	R\$ 0,75	1,5
VAN	R\$ 230,00	R\$ 0,64	1,2

Para cada viagem foi verificado o peso total transportado. Os produtos foram acondicionados no menor veículo cuja capacidade era suficiente para transportá-los, por se tratar do veículo que gerará o menor custo para a realização da distribuição.

Observe os resultados obtidos para cada cenário:

Cenário M0

A distância total percorrida para realização da distribuição do cenário M0, que representa a rede de distribuição atual da Empresa X, foi de 72.706 km e o custo total calculado foi de R\$ 212.906,17 por mês. Observe os resultados alcançados na Tabela 22.

Tabela 22 – Resultados da Distribuição para o Cenário M0

Instalação	Nº de Viagens	Peso Distribuição (kg)	Nº de Entregas Realizadas	Km Percorridos	Custo Total Obtido
CD Vinhedo	470	737.903	9.361	63.525	R\$ 189.518,64
TP Louveira	37	181.753	516	9.181	R\$ 23.387,53
Total	507	919.656	9.877	72.706	R\$ 212.906,17

Cenário M1

O cenário com apenas um TP, localizado em Nova Odessa, conta com um ponto a menos de atendimento ao cliente que a rede atual, já que o cenário anterior conta com o CD de Vinhedo e o TP de Louveira. Era de se esperar que, pelo fato de existirem menos pontos de atendimento, o custo com a distribuição aumentasse. Porém, pelo fato de o TP de Nova Odessa estar no centroide da rede de distribuição, enquanto que o CD de Vinhedo e o TP de Louveira estão deslocados e próximos um do outro no cenário anterior, a distância percorrida com a distribuição no cenário M1 diminuiu 21% em relação à do cenário M0.

Essa diminuição dos quilômetros percorridos fez com que os custos de distribuição também diminuíssem. Essa diminuição, porém, de cerca de 6%, não é tão significativa quanto à diminuição da quilometragem percorrida. Isso ocorre devido ao fato de o custo por quilômetro ser apenas uma pequena parcela do custo do frete de distribuição. Com isso, os custos com a distribuição no cenário M1 ficaram em R\$ 200.887,18 ao mês. Observe os custos obtidos no cenário M1 na Tabela 23:

Tabela 23 – Resultados da Distribuição para o Cenário M1

TP	Nº de Viagens	Peso Distribuição (kg)	Nº de Entregas Realizadas	Km Percorridos	Custo Total Obtido
Nova Odessa	507	919.656	9.877	57.091	R\$ 200.887,18

Cenário M2

O cenário M2 com dois TPs, o primeiro em Iracemápolis e o segundo em Campinas, como era de se esperar, devido ao aumento do número de pontos de atendimento, teve uma distância percorrida menor do que a do cenário M1.

Em comparação com os resultados obtidos no cenário M0, houve uma diminuição de 41% dos quilômetros percorridos e uma diminuição de 11% no custo de distribuição, gerando um custo de R\$ 189.652,19 ao mês. Observe na Tabela 24, os resultados obtidos com o cenário M2:

Tabela 24 – Resultados da Distribuição para o Cenário M2

TP	Nº de Viagens	Peso Distribuição (kg)	Nº de Entregas Realizadas	Km Percorridos	Custo Total Obtido
Iracemápolis	179	247.886	3.771	16.992	R\$ 64.404,15
Campinas	328	671.770	6.106	25.780	R\$ 125.248,04
Total	507	919.656	9.877	42.773	R\$ 189.652,19

Cenário M3

O cenário M3 com três TPs seguiu a mesma tendência dos cenários anteriores e teve uma distância percorrida menor do que a do cenário M2. Entretanto, essa diminuição não é mais tão acentuada em relação ao cenário anterior. Em comparação com os resultados obtidos no cenário M0, houve uma diminuição de 45% dos quilômetros percorridos e uma diminuição de 12% no custo de distribuição, gerando o custo de R\$ 187.456,90 ao mês. Observe na Tabela 25 os resultados obtidos com o cenário M3:

Tabela 25 – Resultados da Distribuição para o Cenário M3

TP	Nº de Viagens	Peso Distribuição (kg)	Nº de Entregas Realizadas	Km Percorridos	Custo Total Obtido
Limeira	121	174.669	2.516	10.553	R\$ 43.269,51
Piracicaba	78	108.176	1.578	5.612	R\$ 26.822,81
Campinas	308	636.811	5.783	23.774	R\$ 117.364,59
Total	507	919.656	9.877	39.939	R\$ 187.456,90

Cenário M4

Por fim, o cenário M4 com 4 TPs teve novamente uma distância menor do que a do cenário anterior, o M3. Essa diminuição é, desta vez, ainda menos acentuada em relação aos cenários anteriores. Em comparação com os resultados obtidos no cenário M0, houve uma diminuição de 49% dos quilômetros percorridos e uma diminuição de 13% no custo de distribuição, gerando o custo de R\$ 185.360,67 ao mês. Observe na Tabela 26 os resultados obtidos com o cenário M4:

Tabela 26 – Resultados da Distribuição para o Cenário M4

TP	Nº de Viagens	Peso Distribuição (kg)	Nº de Entregas Realizadas	Km Percorridos	Custo Total Obtido
Cordeirópolis	68	95.965	1.370	5.050	R\$ 23.526,87
Piracicaba	72	99.118	1.461	5.114	R\$ 24.518,67
Americana	90	140.957	1.851	5.506	R\$ 31.448,94
Campinas	277	583.617	5.195	21.571	R\$ 105.866,19
Total	507	919.656	9.877	37.242	R\$ 185.360,67

4.2.2.1. Resumo dos Custos de Distribuição

Na Tabela 27 podemos ver as reduções obtidas em cada cenário gerado em relação ao cenário M0. Podemos observar que a maior redução ocorreu com o cenário M4, onde foi constatada uma diminuição de R\$ 27.546 dos custos mensais, ou seja, R\$ 330.546 dos custos anuais de distribuição.

Tabela 27 – Reduções Obtidas nos Cenários em Comparação ao Cenário M0 - Base

Reduções obtidas em comparação ao cenário M0 – Base					
Cenário	Percentual dos Km rodados (%)	Km rodados (km)	Percentual do custo (%)	Custo mensal (R\$)	Custo anual (R\$)
M1	21%	15.616	6%	R\$ 12.019	R\$ 144.228
M2	41%	29.933	11%	R\$ 23.254	R\$ 279.048
M3	45%	32.767	12%	R\$ 25.449	R\$ 305.391
M4	49%	35.464	13%	R\$ 27.546	R\$ 330.546

Resumidamente, os custos de distribuição podem ser visualizados através da Tabela 28 e do Gráfico 2.

Tabela 28 – Custos Mensais e Anuais de Distribuição Referentes aos Cenários Gerados

Cenário	Custos Mensais	Custos Anuais
M0	R\$ 212.906	R\$ 2.554.874
M1	R\$ 200.887	R\$ 2.410.646
M2	R\$ 189.652	R\$ 2.275.826
M3	R\$ 187.457	R\$ 2.249.483
M4	R\$ 185.361	R\$ 2.224.328

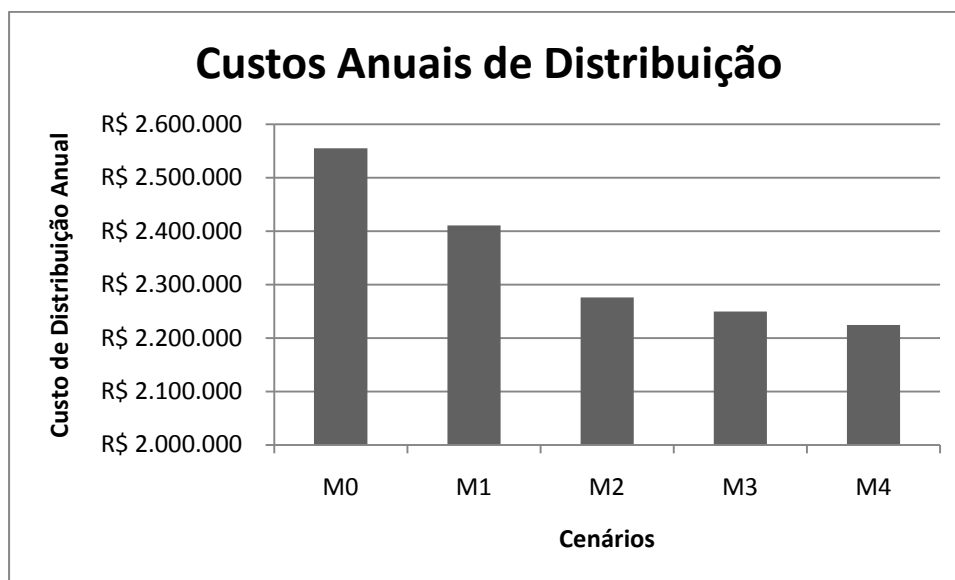


Gráfico 2 – Custos Anuais de Distribuição

4.2.3. Exatidão da Solução

Por conta de 39% dos modelos terem excedido o tempo limite de processamento e não terem achado a solução ótima, mostra-se necessário indicar quão distante as respostas estão do limitante inferior de resposta. Constantemente, a distância total entre as soluções devolvidas pelo modelo dentro de cada cenário e os limites inferiores fica em torno de 3.000 quilômetros para cada cenário. Porém essa diferença, em porcentagem, cresce para os cenários em que sua solução é melhor, podendo chegar a 8,3%. Observe na Tabela 29 o que foi dito anteriormente:

Tabela 29 – Exatidão da Resposta

Cenário	Km Percorridos	Limitante Inferior de Resposta	Diferença em km	Diferença Percentual
M0	72.706	69.351	3.356	4,6%
M1	57.091	53.697	3.394	5,9%
M2	42.773	39.561	3.212	7,5%
M3	39.939	36.950	2.990	7,5%
M4	37.242	34.135	3.107	8,3%

Porém, quando verificado quanto essa diferença representa no custo de distribuição para cada cenário, a diferença percentual fica em torno de 1,3% do custo de distribuição. Isso faz com

que as soluções sejam adequadas para representar os custos de distribuição para cada cenário. Observe na Tabela 30 os valores calculados:

Tabela 30 – Diferença gerada no Custo de Distribuição

Cenário	Custo Total pela Resposta	Custo Total pelo Limite Inferior	Diferença em R\$	Diferença Percentual
M0	R\$ 212.906	R\$ 210.296	R\$ 2.610	1,24%
M1	R\$ 200.887	R\$ 198.222	R\$ 2.666	1,34%
M2	R\$ 189.652	R\$ 187.124	R\$ 2.528	1,35%
M3	R\$ 187.457	R\$ 185.110	R\$ 2.347	1,27%
M4	R\$ 185.361	R\$ 182.915	R\$ 2.446	1,34%

4.3. Transferência

4.3.1. Resultados Obtidos

Para o cálculo do frete de transferência foram utilizadas as informações contidas na Tabela 6 presente na página 68. As informações podem ser, mais uma vez, observadas na Tabela 31, logo a seguir:

Tabela 31 – Custos e Capacidades dos Veículos Utilizados para Transferência

Veículo	Custo da Viagem (R\$/Viagem)	Capacidade (Toneladas)
CARRETA	R\$ 1.400,00	22,0
TRUCK	R\$ 800,00	10,8
TRUCK FRACIONADO	R\$ 600,00	7,5
TOCO	R\$ 560,00	6,5

Observe os resultados obtidos para cada cenário:

Cenário M0

Como mencionado no item 3.4 na página 77, as transferências para o CD serão consolidadas e transportadas por carretas. O cálculo deste custo é simples e não necessita de um modelo de otimização para resolvê-lo. Basta aplicar a seguinte equação:

$$\text{Custo de Transferência para CD} = \text{Nº de Caminhões} * \text{Frete Carreta} \quad (4.1)$$

onde:

$$\text{Nº de Caminhões} \cong \frac{\text{Peso Total Transportado}}{\text{Capacidade da Carreta}} \quad (4.2)$$

Substituindo na fórmula:

- $\text{Peso Total Transportado} = 737.903,13 \text{ kg}$
- $\text{Capacidade da Carreta} = 22.000 \text{ kg}$

obtemos o seguinte número de caminhões necessários para a transferência:

$$\text{Nº de Caminhões} \cong \frac{737.903,13}{22000} = 33,5 \cong 34 \text{ caminhões} \quad (4.3)$$

Substituindo na fórmula principal:

- $\text{Nº de Caminhões} = 34$
- $\text{Frete Carreta} = \text{R\$ } 1.400,00$

Obtemos o custo de Transferência para o CD:

$$\text{Custo de Transferência para CD} = 34 * \text{R\$ } 1.400,00 = \text{R\$ } 47.600,00 \quad (4.4)$$

Já para o custo de transferência de Poços de Caldas para o TP de Louveira, foi preciso rodar o modelo para a transferência, que determina quais os veículos devem ser utilizados. O resultado do custo de transferência para o TP de Louveira foi de R\$ 17.000 e foram utilizados cinco veículos do tipo *Truck*, três do tipo *Truck Fracionado* e 20 *Tocos*.

Portanto, o custo total de transferência para o cenário M0 ficou em R\$ 64.600.

Observe o resumo dos valores de transferência para o cenário M0 na Tabela 32:

Tabela 32 – Custo de Transferência para o Cenário M0

Destino	Peso	CARRETA	TRUCK	TRUCK FRAC.	TOCO	Custo
CD Vinhedo	737.903	34	-	-	-	R\$ 47.600
TP Louveira	181.753	-	5	3	20	R\$ 17.000
Total	919.656	34	5	3	20	R\$ 64.600

Cenário M1

O custo de transferência do cenário M1 consiste apenas dos fretes da fábrica para o TP de Nova Odessa. O custo aproximou-se do custo do cenário M0 e ficou em R\$ 65.400. Podemos observar, na Tabela 33, que o número de Carretas e de Toco utilizados diminuiu, enquanto o número de *Trucks* aumentou.

Tabela 33 – Custo de Transferência para o Cenário M1

Destino	Peso	CARRETA	TRUCK	TRUCK FRAC.	TOCO	Custo
TP Nova Odessa	919.656	32	13	3	15	R\$ 65.400

Cenário M2

O custo de transferência para o cenário M2 teve um aumento de quase 10% em relação ao do cenário base - M0, ficando em R\$ 70.880. Pode ser observado na Tabela 34 que o número de veículos grandes, que têm menor custo por tonelada, foi reduzido, enquanto que o número de veículos menores aumentou significativamente. Essa migração dos veículos maiores para os veículos menores é explicada pelo aumento do número de TPs, que fez com que as cargas transportadas para cada TP fossem mais fracionadas, diminuindo o ganho de escala.

Tabela 34 – Custo de Transferência para o Cenário M2

Destino	Peso	CARRETA	TRUCK	TRUCK FRAC.	TOCO	Custo
Iracemópolis	247.886	4	4	9	15	R\$ 21.800
Campinas	671.770	21	6	8	18	R\$ 49.080
Total	919.656	25	10	17	33	R\$ 70.880

Cenário M3

O custo de transferência para o cenário M3 aumentou ainda mais em relação ao cenário base – M0, chegando a um aumento de quase 22%, resultando num custo de R\$ 78.800. Pode ser observado na Tabela 35 que o número de veículos grandes, que têm menor custo por tonelada, continuou a ser reduzido, enquanto que o número de veículos menores aumentou.

Tabela 35 – Custo de Transferência para o Cenário M3

Destino	Peso	CARRETA	TRUCK	TRUCK FRAC.	TOCO	Custo
Limeira	174.669	1	4	3	21	R\$ 18.160
Piracicaba	108.176	0	5	0	18	R\$ 14.080
Campinas	636.811	20	6	8	16	R\$ 46.560
Total	919.656	21	15	11	55	R\$ 78.800

Cenário M4

Por fim, como era de se esperar, o custo de transferência para o cenário M4 aumentou ainda mais em relação ao cenário base M0, aumentando quase 37%, resultando em um custo de R\$ 88.280. Pode ser observado, na Tabela 36, que o número de veículos grandes atingiu o menor nível entre os cenários, contando com apenas 18 *Carretas*, enquanto o número *Tocos* chegou a 73.

Tabela 36 – Custo de Transferência para o Cenário M4

Destino	Peso	CARRETA	TRUCK	TRUCK FRAC.	TOCO	Custo
Cordeirópolis	95.965	0	2	1	21	R\$ 13.960
Piracicaba	99.118	0	3	1	19	R\$ 13.640
Americana	140.957	0	6	5	15	R\$ 16.200
Campinas	583.617	18	7	6	18	R\$ 44.480
Total	919.656	18	18	13	73	R\$ 88.280

4.3.1.1. Resumo dos Custos de Transferência

Os custos de transferência para cada cenário gerado podem ser vistos em seguida, na Tabela 37 e no Gráfico 3. Podemos observar que a tendência dos custos de transferência é aumentar, conforme o aumento do número de TPs abertos, devido à diminuição do ganho de escala causada pela utilização de veículos menores no lugar dos maiores.

Tabela 37 – Resumos dos Custos de Transferência

Cenário	Custos de Transferência mensais	Aumento mensal em relação ao cenário M0 em R\$	Aumento Percentual	Custos de Transferência anuais
M0	R\$ 64.600	-	-	R\$ 775.200
M1	R\$ 65.400	R\$ 800	1,24%	R\$ 784.800
M2	R\$ 70.880	R\$ 6.280	9,72%	R\$ 850.560
M3	R\$ 78.800	R\$ 14.200	21,98%	R\$ 945.600
M4	R\$ 88.280	R\$ 23.680	36,66%	R\$ 1.059.360

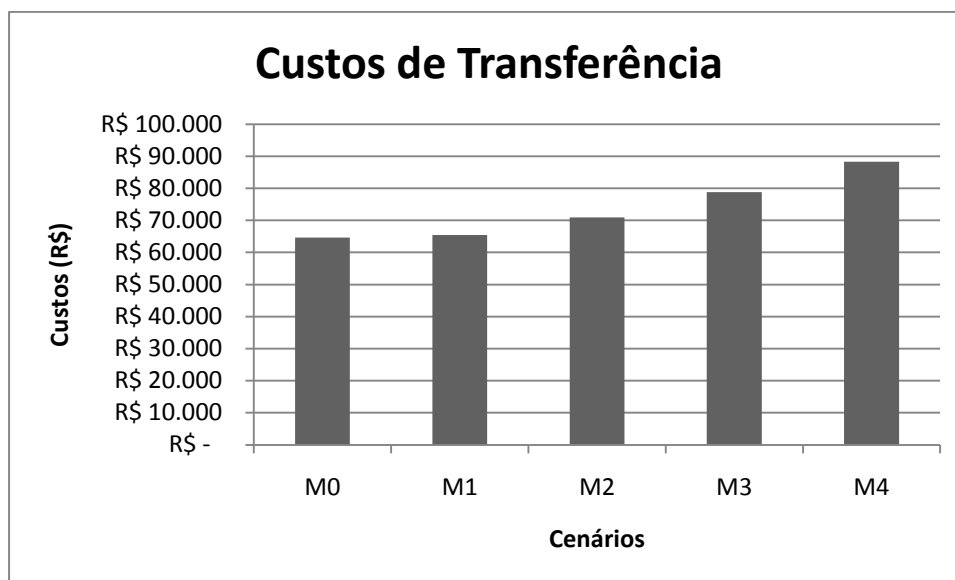


Gráfico 3 – Custos de Transferência

4.4.Cálculo dos Custos de Armazenagem

Nesta parte serão definidos os custos de armazenagem e de movimentação das cargas. Com tais custos adicionados aos custos já calculados, será possível fazer a avaliação do melhor cenário.

Tomando os custos básicos de movimentação e armazenagem apresentados anteriormente e, mais uma vez, apresentados na Tabela 38 e na Tabela 39 a seguir, podemos calcular os custos totais de movimentação e armazenagem para o CD de Vinhedo e o custo de movimentação para os TPs de cada cenário.

Tabela 38 – Custos associados ao Centro de Distribuição

Custo Fixo	Custo Variável (R\$/ Ton)
R\$ 70.000,00	R\$ 65,00

Tabela 39 – Custos Associados aos *Transit Points*

Movimentação do TP	Custo Variável (R\$/ Ton)
Abaixo de 100 Ton / mês	R\$ 44,00
De 100 a 300 Ton / mês	R\$ 40,00
Acima de 300 Ton / mês	R\$ 38,00

Observe os resultados obtidos para cada cenário:

Cenário M0

Os custos de movimentação e armazenagem para o cenário M0 estão divididos em duas partes. A primeira para o CD de Vinhedo e a segunda para o TP de Louveira que tem uma movimentação entre 100 e 300 toneladas por mês. A Tabela 40 resume os custos obtidos.

Tabela 40 – Custos de Movimentação e Armazenagem para o Cenário M0

Instalação	Peso (kg)	Custo de Movimentação e Armazenagem
CD Vinhedo	737.903	R\$ 117.964
TP Louveira	181.753	R\$ 7.270
Total	919.656	R\$ 125.234

Cenário M1

O custo de movimentação de produtos do cenário M1 refere-se ao custo gasto com um TP com movimentação acima de 300 toneladas, a R\$ 38 por tonelada. A Tabela 41 destaca esse custo.

Tabela 41 – Custos de Movimentação para o Cenário M1

Instalação	Peso (kg)	Custo de Movimentação
TP Nova Odessa	919.656	R\$ 34.947

O custo de M1 teve uma redução significativa de R\$ 90.287 mensais, uma vez que em TPs não é cobrado custo de armazenagem, já que a carga é distribuída no mesmo dia em que chega ao TP.

Cenário M2

O custo de movimentação para o cenário M2 de 2 TPs ficou ligeiramente mais caro que o do cenário M1, devido ao fato de a utilização de um TP com menor movimentação apresentar um custo de movimentação de materiais com incremento de R\$ 2 por tonelada. Observe a Tabela 42:

Tabela 42 – Custo de Movimentação para o Cenário M2

Destino	Peso	Custo de Movimentação
Iracemápolis	247.886	R\$ 9.915
Campinas	671.770	R\$ 25.527
Total	919.656	R\$ 35.443

Cenário M3

O custo de movimentação para o cenário M3 de 3 TPs também teve um ligeiro aumento em relação ao do cenário M2, devido ao maior volume de produtos transferidos para um TP menor, cujo custo de movimentação de materiais tem um incremento de R\$ 2 por tonelada. Observe a Tabela 43:

Tabela 43 – Custo de Movimentação para o Cenário M3

Destino	Peso	Custo de Movimentação
Limeira	174.669	R\$ 6.987
Piracicaba	108.176	R\$ 4.327
Campinas	636.811	R\$ 24.199
Total	919.656	R\$ 35.513

Cenário M4

O custo de movimentação para o cenário M4 teve um aumento de R\$ 886 ao mês em relação ao custo de movimentação do cenário M3, devido à utilização de dois TPs com movimentação menor do que 100 toneladas por mês. Observe os custos obtidos para o cenário M4 na Tabela 44:

Tabela 44 – Custo de Movimentação para o Cenário M4

Destino	Peso	Custo de Movimentação
Cordeirópolis	95.965	R\$ 4.222
Piracicaba	99.118	R\$ 4.361
Americana	140.957	R\$ 5.638
Campinas	583.617	R\$ 22.177
Total	919.656	R\$ 36.399

4.4.1. Resumo dos Custos de Movimentação e Armazenagem

Em resumo, podemos observar que há uma grande diferença entre os custos associados a um CD e os custos associados a um TP, já que os custos de armazenagem no TP são inexistentes. Podemos salientar também, que a diferença do custo de movimentação para descentralizar a rede de distribuição em vários TPs provou não ser muito expressiva para estes casos. Na Tabela 45 e no Gráfico 4 podemos observar os custos mensais e anuais para cada cenário:

Tabela 45 – Custos Mensais e Anuais de Movimentação e de Armazenagem

Cenário	Custos de Movimentação e Armazenagem Mensais	Custos de Movimentação e Armazenagem Anuais	Diferença dos Custos Mensais	Diferença dos Custos Anuais
M0	R\$ 125.234	R\$ 1.502.806	-	-
M1	R\$ 34.947	R\$ 419.363	R\$ 90.287	R\$ 1.083.443
M2	R\$ 35.443	R\$ 425.313	R\$ 89.791	R\$ 1.077.493
M3	R\$ 35.513	R\$ 426.152	R\$ 89.721	R\$ 1.076.654
M4	R\$ 36.399	R\$ 436.792	R\$ 88.834	R\$ 1.066.014

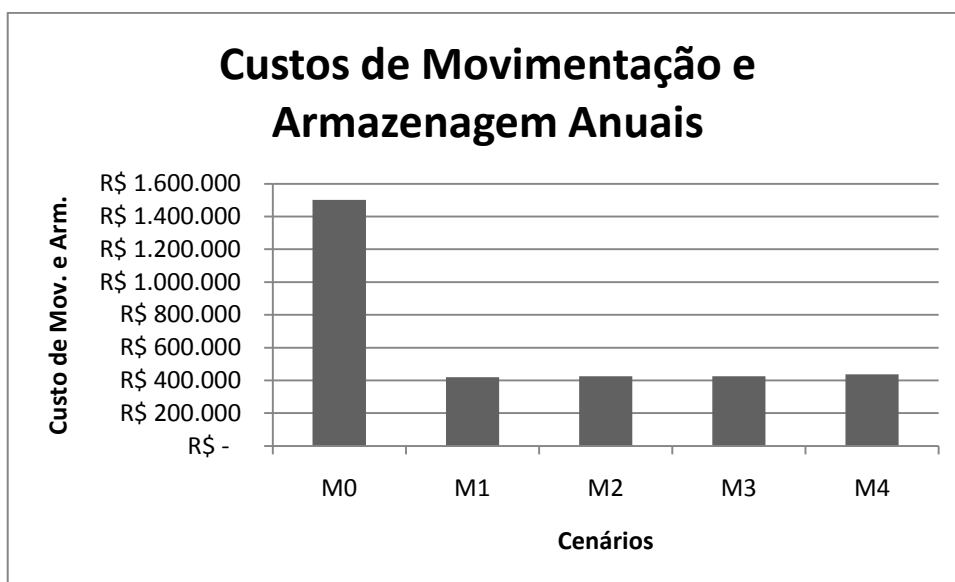


Gráfico 4 – Custo de Movimentação e Armazenagem Anuais

5. CONSOLIDAÇÃO DOS RESULTADOS

Esse capítulo tem, como objetivo, consolidar todos os custos levantados pelo modelo para cada cenário, podendo, assim, serem observados os custos totais de cada cenário e ser destacado o cenário que trará maior economia para a ampliação do armazém junto à fábrica de Poços de Caldas.

Cenário M0

Os custos que serão tomados como base para avaliar a melhor configuração de rede de distribuição estão dispostos na Tabela 46. Repare que os custos de movimentação de mercadorias e de armazenagem representam 31% dos custos totais da rede de distribuição. Isto é, quase o dobro do custo de transferência.

Tabela 46 – Custos do Cenário M0

Modelo M0	Custos Mensais	Custos Anuais
Custos de Distribuição	R\$ 212.906	R\$ 2.554.874
Custos de Transferência	R\$ 64.600	R\$ 775.200
Custos de Mov. e Armazenagem	R\$ 125.234	R\$ 1.502.808
Custos Totais	R\$ 402.740	R\$ 4.832.882

Cenário M1

No cenário M1 o custo de distribuição e, principalmente, a exclusão do custo de armazenagem devido ao fechamento do CD fizeram com que a economia mensal fosse de R\$ 101.506 em relação ao custo calculado no cenário M0. Essa quantia representa uma diminuição de 25,2% no custo total, fazendo com que o custo anual fosse reduzido de R\$ 4.832.882 para R\$ 3.614.810. Observe, na Tabela 47, que o custo de movimentação de mercadorias representa apenas cerca de 12% do custo total do cenário M1.

Tabela 47 – Custos do Cenário M1

Modelo M1	Custos Mensais	Custos Anuais
Custos de Distribuição	R\$ 200.887	R\$ 2.410.646
Custos de Transferência	R\$ 65.400	R\$ 784.800
Custos de Movimentação	R\$ 34.947	R\$ 419.364
Custos Totais	R\$ 301.234	R\$ 3.614.810

Cenário M2

No cenário M2 o custo de distribuição e, principalmente, o custo de movimentação de mercadorias fizeram com que a economia fosse de R\$ 106.765 em relação ao custo do cenário M0. O cenário M2 teve uma economia maior do que a do cenário M1, devida, unicamente, ao custo de distribuição. A redução de custos do M2 só não foi maior, porque o custo mensal de transferência de M2 ficou R\$ 5.480 mais alto do que o do M1.

O custo somado neste cenário é 26,5% menor que o custo total de M0, somando R\$ 3.551.702 anuais. Observe, na Tabela 48, que o custo de movimentação de mercadorias representa apenas 12% do custo total do cenário M2 e que o custo de transferência teve um aumento de 8,4% em relação ao do cenário M1, chegando a R\$ 70.880 mensais.

Tabela 48 – Custos do Cenário M2

Modelo M2	Custos Mensais	Custos Anuais
Custos de Distribuição	R\$ 189.652	R\$ 2.275.826
Custos de Transferência	R\$ 70.880	R\$ 850.560
Custos de Movimentação	R\$ 35.443	R\$ 425.316
Custos Totais	R\$ 295.975	R\$ 3.551.702

Cenário M3

No cenário M3 o custo de distribuição e, principalmente, o custo de movimentação de mercadorias fizeram com que a redução de custo total mensal chegasse a R\$ 100.970 em relação ao custo do cenário M0. O cenário M3 teve um custo total maior do que o do cenário M1 e do que o cenário M2, mesmo tendo o menor custo de distribuição. Isso ocorreu devido ao fato de o custo de transferência ser 20% e 11% mais alto do que o custo de transferência dos cenários M1 e M2, respectivamente.

O custo somado neste cenário é 25,1% menor que o custo total de M0, comando R\$ 3.621.239 anuais. Observe as informações consolidadas na Tabela 49:

Tabela 49 – Custos do Cenário M3

Modelo M3	Custos Mensais	Custos Anuais
Custos de Distribuição	R\$ 187.457	R\$ 2.249.483
Custos de Transferência	R\$ 78.800	R\$ 945.600
Custos de Movimentação	R\$ 35.513	R\$ 426.156
Custos Totais	R\$ 301.770	R\$ 3.621.239

Cenário M4

Por fim, no cenário M4 o custo de distribuição e, principalmente, o custo de movimentação de mercadorias fizeram com que a redução do custo total mensal chegasse a R\$ 92.700 em relação ao custo gasto no cenário M0. O cenário M4 teve um custo total mais alto do que os dos cenários M1, M2 e M3, mesmo tendo o menor custo de distribuição entre os quatro. Isso ocorreu devido ao fato de o custo de transferência ser 35%, 25% e 12% mais alto do que os custos de transferência dos cenários M1, M2 e M3, respectivamente.

O custo somado neste cenário é 23% menor que o custo total de M0, somando R\$ 3.720.476 anuais. Observe as informações consolidadas na Tabela 50:

Tabela 50 – Custos do Cenário M4

Modelo M4	Custos Mensais	Custos Anuais
Custos de Distribuição	R\$ 185.361	R\$ 2.224.328
Custos de Transferência	R\$ 88.280	R\$ 1.059.360
Custos de Movimentação	R\$ 36.399	R\$ 436.788
Custos Totais	R\$ 310.040	R\$ 3.720.476

5.1. Resumo dos Custos Logísticos Totais

A partir do Gráfico 5, podemos observar a composição dos custos logísticos de cada cenário. Observe que o custo de distribuição tem uma queda acentuada até o cenário M2. A partir de M2, esses custos não têm uma variação muito significativa.

Já o custo de transferência mostra-se bem próximo nos dois primeiros cenários; porém, aumenta significativamente nos demais cenários.

Para o custo de armazenagem e movimentação, o grande salto está entre os cenários M0 e M1, onde o CD de Vinhedo é fechado e em seu lugar é aberto um TP.

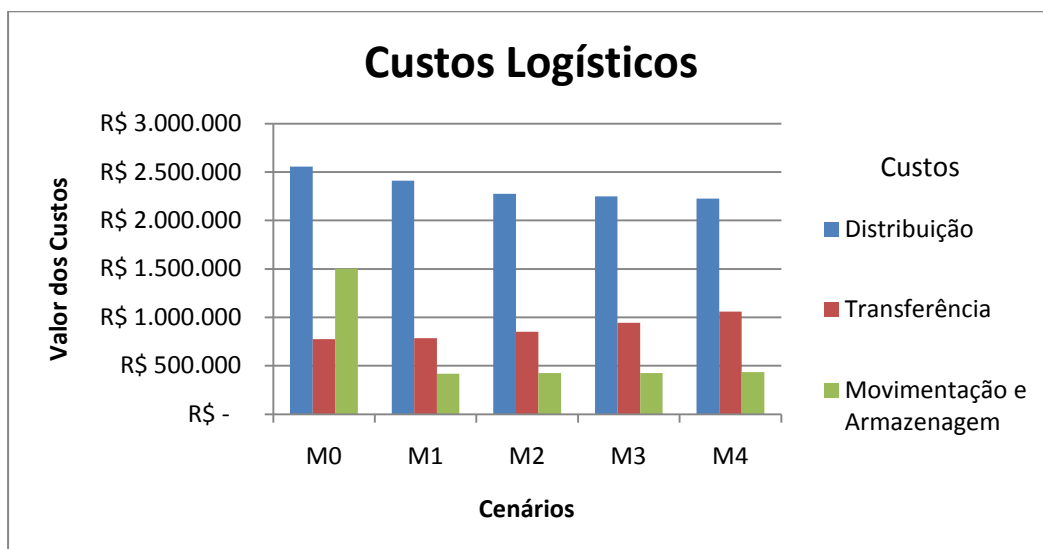


Gráfico 5 – Composição dos Custos Logísticos de cada Cenário

No Gráfico 6 podemos ver a junção dos custos logísticos e o impacto deles na redução de custos em cada cenário.

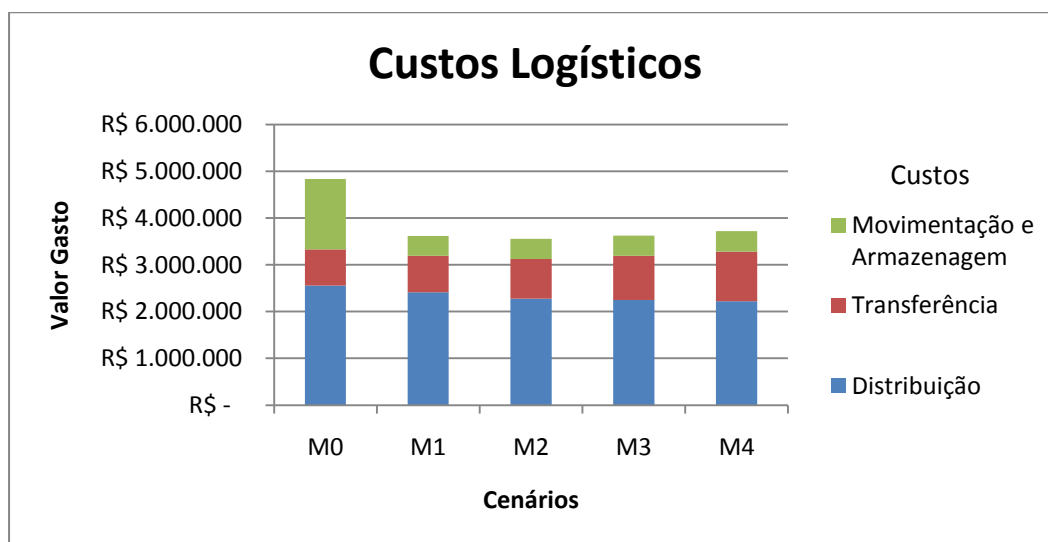


Gráfico 6 – Junção dos Custos Logísticos

Por fim, na Tabela 51 e no Gráfico 7 é possível ver um resumo das reduções de custos anuais – em relação ao cenário M0 – obtidas em cada cenário. Mostra-se que o cenário M2 é o que obteve a maior redução. A redução anual obtida pelo cenário M2 foi de R\$ 1.281.180. Em segundo lugar ficou M1, com uma redução anual de R\$ 1.218.072 e, logo em seguida, o M3,

com uma redução anual de R\$ 1.211.643, deixando em último lugar o cenário M4, com uma redução anual de R\$ 1.112.406.

Tabela 51 – Resumo dos Custos Logísticos de cada Cenário

	M0	M1	M2	M3	M4
Distribuição	R\$ 2.554.874	R\$ 2.410.646	R\$ 2.275.826	R\$ 2.249.483	R\$ 2.224.328
Transferência	R\$ 775.200	R\$ 784.800	R\$ 850.560	R\$ 945.600	R\$ 1.059.360
Armazenagem	R\$ 1.502.808	R\$ 419.364	R\$ 425.316	R\$ 426.156	R\$ 436.788
Total Anual	R\$ 4.832.882	R\$ 3.614.810	R\$ 3.551.702	R\$ 3.621.239	R\$ 3.720.476
Redução Anual		R\$ 1.218.072	R\$ 1.281.180	R\$ 1.211.643	R\$ 1.112.406

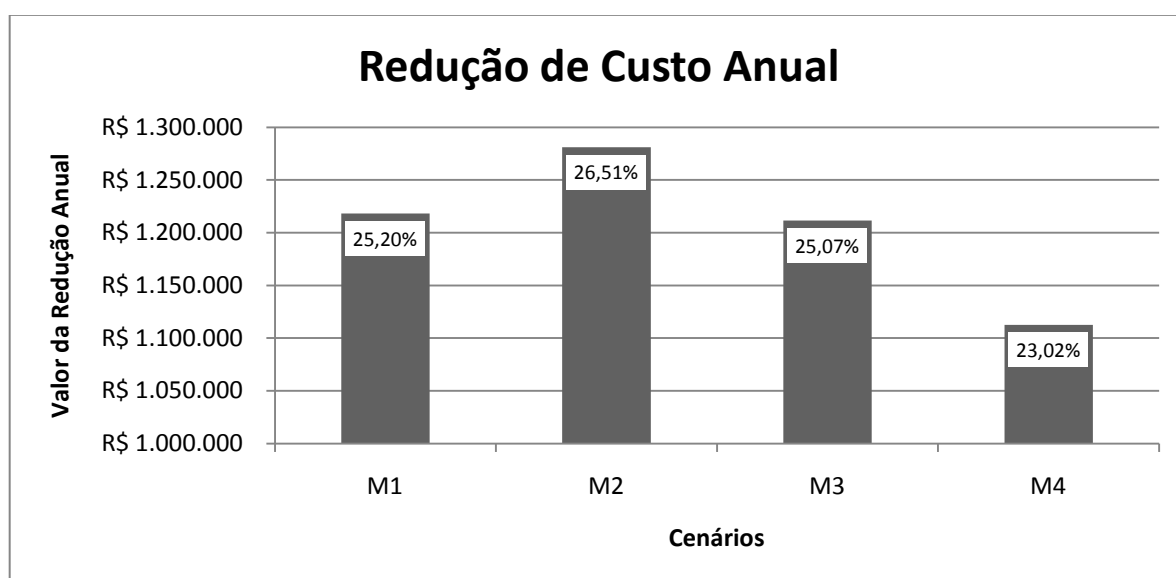


Gráfico 7 – Redução do Custo Anual dos Cenários Propostos

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os cenários M1 a M4, onde a distribuição é feita inteiramente através de *Transit Points*, obterão um acréscimo do incentivo fiscal de pelo menos R\$ 1,7 milhões anuais, como calculado no item 1.3, página 36, em relação ao cenário M0. Observa-se que esse incentivo supera em 37% a economia de R\$ 1.281.180 anuais obtida pelo melhor cenário gerado, o M2. Somando esses dois valores, o cenário M2 garante, à Empresa X, uma redução de, praticamente, R\$ 3 milhões anuais.

Parte desta economia será utilizada para pagar a ampliação do armazém junto à fábrica de Poços de Caldas, além de prováveis aumentos de gastos com estocagem e movimentação de materiais no local.

Pode-se concluir, a partir deste trabalho, que a utilização de um *Transit Point* no lugar de um Centro de Distribuição é uma alternativa muito promissora.

O aumento gradativo do custo de transferência é o principal fator que impede que cenários com mais de dois TPs sejam escolhidos como melhor solução.

Para a utilização de um *Transit Point* no lugar de um CD, alguns cuidados devem ser tomados.

Por se tratar de uma instalação que não permite a existência de armazenagem, a complexidade de planejamento, programação e execução da rede logística é maior. Deve-se tomar todas as medidas para que o nível de serviço ao cliente não seja comprometido.

Outro ponto a se atentar é o fato de o produto tratado neste estudo necessitar de refrigeração, tornando obrigatória a utilização de veículos e instalações refrigeradas para assegurar a qualidade do produto fornecido ao cliente final.

6.1.Recomendações

O modelo utilizado pelo autor indica que o cenário com a utilização de dois *Transit Points* é a solução que retorna a maior economia à Empresa X. A redução nos custos obtida através deste cenário é por volta de R\$ 3 milhões. As características dos TPs deste cenário estão listadas a seguir:

Localização dos TPs

As localizações encontradas pelo sistema dizem respeito às macro-localizações de cada ponto. Isso quer dizer que as localizações encontradas servem para orientar a empresa na hora de decidir em qual região cada TP deve ser aberto. Para análise da localização exata (micro-localização) de cada TP, a empresa deverá levar em conta outros fatores como: acessibilidade, distância em relação a rodovias, tráfego, área de rodízio, custo do terreno, zoneamento etc.

Os municípios selecionados para abertura dos TPs são Iracemápolis e Campinas. Na Tabela 52 estão destacadas as localizações encontradas pelo modelo.

Tabela 52 – Localizações dos TPs Selecionados

TP	Município	Latitude	Longitude
1	Iracemápolis	-22,591749	-47,539342
2	Campinas	-22,922566	-47,127675

Podemos observar, mais uma vez, a ilustração deste cenário na Figura 34:

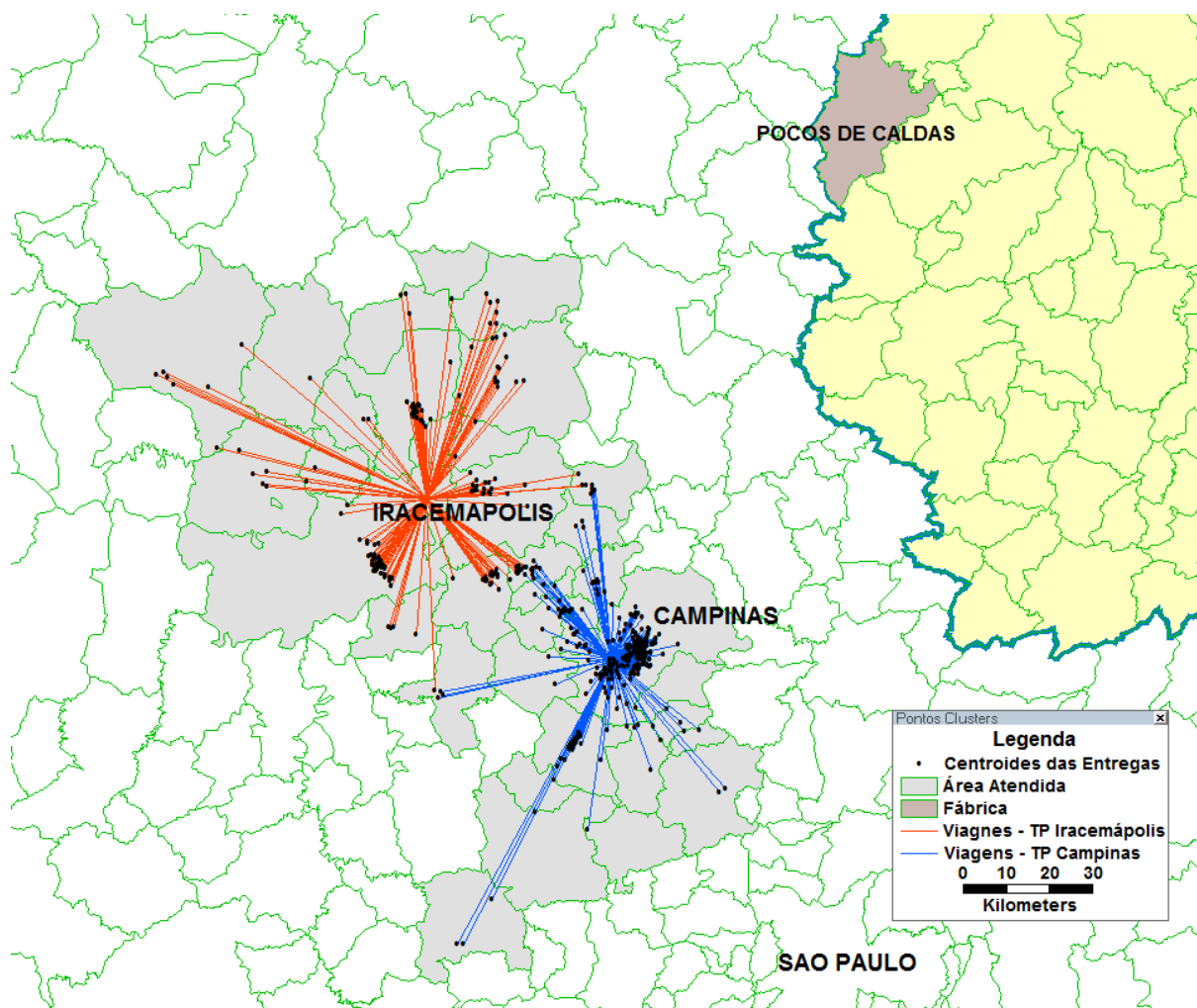


Figura 34 – Solução gráfica para o cenário M2

Viagens atendidas por cada TP

As viagens atendidas por cada TP podem ser visualizadas no Apêndice H.

Custos Anuais incorridos

Tabela 53 – Custos Incorridos do Cenário M2

Modelo M2	Custos Anuais
Custos de Distribuição	R\$ 2.275.826
Custos de Transferência	R\$ 850.560
Custos de Movimentação	R\$ 425.316
Custos Totais	R\$ 3.551.702

Fica documentado, desta forma, que, dentro dos parâmetros e das premissas sobre as quais esse estudo foi baseado, a resposta matematicamente correta para o problema é o cenário M2.

É importante ressaltar, porém, que o cenário M1 tem um custo anual apenas R\$63 mil mais alto que o cenário M2. Esse fato levanta a pergunta: a economia de R\$63 mil anuais justifica a abertura de um segundo TP? Ou será que, para manter o nível de complexidade da rede de distribuição mais baixo, os custos marginalmente mais altos do cenário M1 não se justificam?

Essa pergunta foge, porém, ao escopo deste trabalho e fica documentada para discussões futura.

Em todo caso, se a empresa considerar que estes custos extras se justificam e decidir pelo cenário M1, o município onde o TP que deverá ser aberto é o de Nova Odessa e os dados associados a ele são os seguintes:

Localização do TP

Tabela 54 – Número de Viagens Atendidas pelo TP1

TP	Município	Latitude	Longitude
1	Nova Odessa	-22,795583	-47,285691

Podemos observar mais uma vez a ilustração deste cenário na Figura 35:

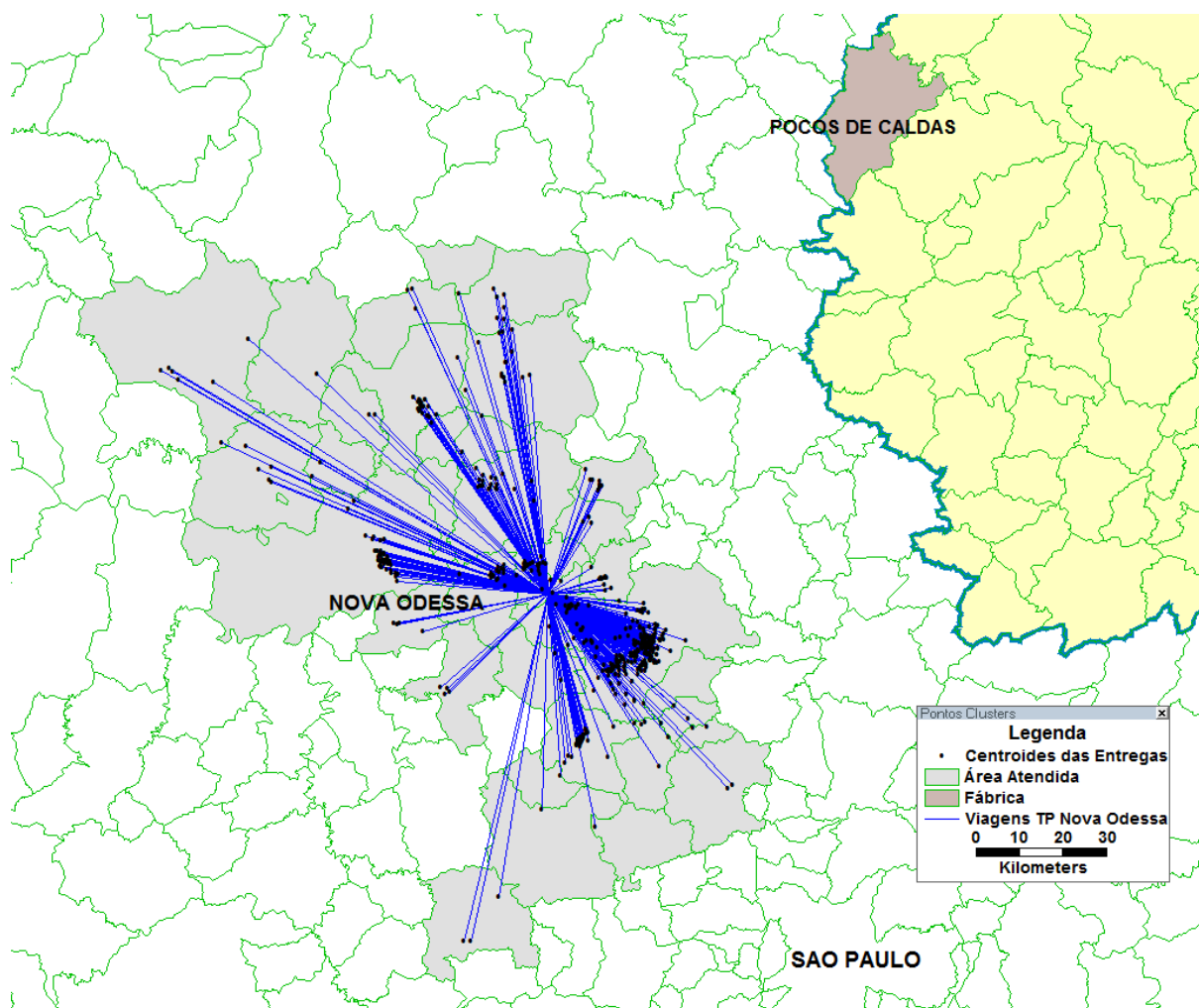


Figura 35 – Solução Gráfica para o Cenário M1

Viagens atendidas por cada TP

Todas as viagens devem ser atendidas pelo TP de Nova Odessa.

Custos Anuais incorridos

Tabela 55 – Custos Anuais do Cenário M1

Modelo M1	Custos Anuais
Custos de Distribuição	R\$ 2.410.646
Custos de Transferência	R\$ 784.800
Custos de Movimentação	R\$ 419.364
Custos Totais	R\$ 3.614.810

6.2. Estudos Futuros

Esta seção visa propor estudos que poderão enriquecer os resultados obtidos até aqui.

- Estudos futuros poderão considerar o impacto do ICMS nos custos de distribuição da rede da Empresa X.
- A resolução do problema utilizando um modelo de TSP (caixeiro viajante), onde os pontos de entrega das viagens já estavam pré-definidos pelas viagens anteriormente realizadas, impediu maiores reduções nos custos de distribuição. A utilização de um modelo VRP pode explorar melhor esses ganhos, porém sua implantação deve ser de difícil resolução.
- Este estudo não levantou a hipótese de se alterar o nível de serviço de atendimento aos clientes. Não foi estudado o impacto na satisfação do cliente caso as entregas fossem feitas a cada dois dias, ao invés de D+1 (entrega no dia seguinte à colocação de pedido), como é feito atualmente. Essa hipótese não foi levantada, pois seria necessário um estudo muito mais detalhado do comportamento do cliente por causa de tais alterações. Os custos de transferência e de distribuição, poderiam atingir melhores níveis caso o nível de serviço fosse alterado, porém o estudo atual não é capaz de analisar qual seria a diminuição da demanda, inviabilizando qualquer conclusão a respeito.
- Dependendo dos objetivos estratégicos e filosofia de sustentabilidade da empresa, um estudo sobre o impacto da redução da quilometragem na emissão total de CO₂ pode ser bastante interessante. Para isso, uma análise do ponto de vista de créditos de carbono pode ser feita, baseando a discussão em uma análise quantificável.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMBROSINO, Daniela, SCIOMACHEN, Anna, & SCUTELLÀ, Maria G. **A heuristic based on multi-exchange techniques for a regional fleet assignment location-routing problem.** Computers & Operations Research, 2009, V. 36, p. 442-460.

BALLOU, Ronald H.; tradução Raul Rubenich. **Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos / Logística Empresarial.** 5ª Edição – Porto Alegre: Bookman, 2006.

BALLOU, Ronald H.; tradução Hugo T. Yoshizaki. **Logística Empresarial: Transportes, Administração de Materiais e Distribuição Física.** 1ª Edição. – São Paulo: Atlas, 2009.

CHOPRA, Sunil; MEINDL, Peter G.; tradução Cláudia Freie. **Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos.** – São Paulo: Prentice Hall, 2003.

CHRISTOPHER, Martin; tradução Francisco R. Leite. **Logística e Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos: Estratégias para a Redução de Custos e Melhoria dos Serviços.** – São Paulo: Pioneira, 1997.

CUNHA, Claudio B. **Aspectos práticos da aplicação de modelos de roteirização de veículos a problemas reais.** Transportes, 2000, V. 8, p. 51-74.

DEPARTAMENTO DE DEFESA DOS ESTADOS UNIDOS. **NAVSTAR GPS user equipment introduction.** Disponível em: < <http://www.navcen.uscg.gov/pubs/gps/gpsuser/gpsuser.pdf>> Acesso em 04/10/2001.

DASKIN, Mark S. **Network and Discrete Location: Models, Algorithms, and Applications.** – New Jersey: Wiley-Interscience, 1995.

FISHER, M., & JAIKUMAR, R. **A Generalized Assignment Heuristic for Vehicle Routing.** Networks, 1981, V. 11, p. 113-129.

GOOGLE. **API do Google Maps.** Disponível em: <<http://code.google.com/intl/pt-BR/apis/maps/documentation/javascript/v2/services.html>> Acesso em 04/10/2010.

LACERDA, Leonardo. **Armazenagem Estratégica: Analisando Novos Conceitos**. Disponível em <www.ilos.com.br> Acesso em 15/10/2010, 2000.

LIMA, Maurício P. **Custos logísticos na economia brasileira**. Revista Tecnológica, 2006, V.1 .

PORTAL TRIBUTÁRIO. **ICMS** – Disponível em: <<http://www.portaltributario.com.br/tributos/icms.html>> Acesso em 14/10/10.

RODRIGUES, Gisela G., PIZZOLATO, Nélío D. **Centro de Distribuição: Armazenagem Estratégica**. Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2003.

SENNE, Edson L., & Lorena, Luiz A. **Abordagens Complementares para Problemas de P-medianas**. Produção, 2003, p. 78-87.

TANSINI, Libertad, URQUHART, Maria, VIERA, Omar. **Caparing Assignment Algorithms for the Multi-Depot VRP**. – Montevideo, Uruguay, 2001.

WINSTON, Wayne. **Operation Research**. – Belmont: Brooks/Cole - Thomson, 2004.

APÊNDICE A – LOCALIZAÇÕES DOS PONTOS ATENDIDOS

Devido ao grande número de dados, só foram incluídos os dados das dez primeiras viagens realizadas pela Empresa X no mês de abril.

Tabela 56 – Localizações dos Pontos Atendidos

Data Emissão	Lat Cliente	Lon Cliente	Cluster/ Viagem	Data Emissão	Lat Cliente	Lon Cliente	Cluster/ Viagem
01/04/2010	-23,52981	-47,46356	1	01/04/2010	-22,89080	-47,16610	3
01/04/2010	-23,27136	-47,29660	1	01/04/2010	-22,88952	-47,18241	3
01/04/2010	-23,50668	-47,47117	1	01/04/2010	-22,88466	-47,17769	3
01/04/2010	-23,48905	-47,44347	1	01/04/2010	-22,85717	-47,21994	3
01/04/2010	-23,27922	-47,28988	1	01/04/2010	-22,84305	-47,21496	3
01/04/2010	-22,45872	-47,52457	2	01/04/2010	-23,00592	-47,10859	4
01/04/2010	-22,45636	-47,54231	2	01/04/2010	-22,97239	-47,10276	4
01/04/2010	-22,45621	-47,53283	2	01/04/2010	-22,95755	-47,09622	4
01/04/2010	-22,45577	-47,53864	2	01/04/2010	-22,92815	-47,05505	4
01/04/2010	-22,45394	-47,52915	2	01/04/2010	-22,92334	-47,03934	4
01/04/2010	-22,44872	-47,53979	2	01/04/2010	-22,92061	-47,03971	4
01/04/2010	-22,44550	-47,54192	2	01/04/2010	-22,91799	-47,05327	4
01/04/2010	-22,43883	-47,56730	2	01/04/2010	-22,91717	-47,04548	4
01/04/2010	-22,42745	-47,55555	2	01/04/2010	-22,91655	-47,05569	4
01/04/2010	-22,42585	-47,56953	2	01/04/2010	-22,91626	-47,03519	4
01/04/2010	-22,42565	-47,55022	2	01/04/2010	-22,91484	-47,03090	4
01/04/2010	-22,42544	-47,56565	2	01/04/2010	-22,91448	-47,03369	4
01/04/2010	-22,42076	-47,56175	2	01/04/2010	-22,91073	-47,04469	4
01/04/2010	-22,41931	-47,57483	2	01/04/2010	-22,77211	-47,33692	5
01/04/2010	-22,41868	-47,55880	2	01/04/2010	-22,77162	-47,34048	5
01/04/2010	-22,41765	-47,55822	2	01/04/2010	-22,76856	-47,32843	5
01/04/2010	-22,41751	-47,55039	2	01/04/2010	-22,76429	-47,35902	5
01/04/2010	-22,41599	-47,55998	2	01/04/2010	-22,76401	-47,33021	5
01/04/2010	-22,41476	-47,55900	2	01/04/2010	-22,76348	-47,33765	5
01/04/2010	-22,41081	-47,58277	2	01/04/2010	-22,75917	-47,33794	5
01/04/2010	-22,39966	-47,54928	2	01/04/2010	-22,75595	-47,32208	5
01/04/2010	-22,39840	-47,54920	2	01/04/2010	-22,75523	-47,33163	5
01/04/2010	-22,38582	-47,54886	2	01/04/2010	-22,75321	-47,33994	5
01/04/2010	-22,90871	-47,17627	3	01/04/2010	-22,75101	-47,33770	5
01/04/2010	-22,90801	-47,19383	3	01/04/2010	-22,74965	-47,32508	5
01/04/2010	-22,90786	-47,19085	3	01/04/2010	-22,74909	-47,35744	5
01/04/2010	-22,90784	-47,19292	3	01/04/2010	-22,74724	-47,32623	5
01/04/2010	-22,90567	-47,18029	3	01/04/2010	-22,74663	-47,33283	5
01/04/2010	-22,90481	-47,17798	3	01/04/2010	-22,74529	-47,32674	5
01/04/2010	-22,90466	-47,17831	3	01/04/2010	-22,74291	-47,34080	5
01/04/2010	-22,90201	-47,17395	3	01/04/2010	-22,74174	-47,35128	5
01/04/2010	-22,89923	-47,17470	3	01/04/2010	-22,74152	-47,33837	5
01/04/2010	-22,89529	-47,17640	3	01/04/2010	-22,74067	-47,34087	5
01/04/2010	-22,89526	-47,17747	3	01/04/2010	-22,74013	-47,33759	5
01/04/2010	-22,89487	-47,17746	3	01/04/2010	-22,73927	-47,33186	5
01/04/2010	-22,89213	-47,18108	3	01/04/2010	-22,73894	-47,33699	5

Data Emissão	Lat Cliente	Lon Cliente	Cluster/ Viagem	Data Emissão	Lat Cliente	Lon Cliente	Cluster/ Viagem
01/04/2010	-22,73780	-47,31829	5	01/04/2010	-22,66518	-47,68890	6
01/04/2010	-22,73233	-47,35799	5	01/04/2010	-22,90905	-47,06459	7
01/04/2010	-22,73096	-47,35434	5	01/04/2010	-22,82796	-47,08089	7
01/04/2010	-22,72955	-47,32298	5	01/04/2010	-22,78142	-47,14731	7
01/04/2010	-22,72905	-47,34143	5	01/04/2010	-22,78130	-47,14673	7
01/04/2010	-22,72879	-47,32286	5	01/04/2010	-22,78035	-47,16261	7
01/04/2010	-22,72201	-47,33369	5	01/04/2010	-22,77797	-47,17078	7
01/04/2010	-22,72192	-47,33176	5	01/04/2010	-22,77786	-47,17112	7
01/04/2010	-22,72175	-47,33278	5	01/04/2010	-22,77666	-47,17325	7
01/04/2010	-22,70987	-47,28832	5	01/04/2010	-22,77600	-47,17516	7
01/04/2010	-22,70961	-47,28705	5	01/04/2010	-22,77524	-47,17104	7
01/04/2010	-22,70810	-47,28582	5	01/04/2010	-22,77303	-47,16686	7
01/04/2010	-22,70343	-47,30031	5	01/04/2010	-22,76744	-47,15440	7
01/04/2010	-22,70192	-47,30211	5	01/04/2010	-22,75676	-47,16180	7
01/04/2010	-22,70191	-47,29224	5	01/04/2010	-22,75551	-47,19602	7
01/04/2010	-22,70060	-47,29839	5	01/04/2010	-22,75299	-47,18368	7
01/04/2010	-22,70043	-47,29623	5	01/04/2010	-22,75158	-47,17145	7
01/04/2010	-22,76039	-47,63317	6	01/04/2010	-22,75006	-47,17554	7
01/04/2010	-22,74851	-47,61674	6	01/04/2010	-22,73091	-47,17822	7
01/04/2010	-22,74655	-47,63391	6	01/04/2010	-23,03419	-47,12005	8
01/04/2010	-22,74452	-47,62098	6	01/04/2010	-23,02772	-47,12782	8
01/04/2010	-22,74332	-47,62241	6	01/04/2010	-22,98884	-47,11869	8
01/04/2010	-22,74284	-47,64044	6	01/04/2010	-22,98258	-47,11585	8
01/04/2010	-22,74178	-47,63634	6	01/04/2010	-22,97920	-47,16760	8
01/04/2010	-22,74086	-47,63365	6	01/04/2010	-22,97839	-47,13969	8
01/04/2010	-22,73940	-47,62425	6	01/04/2010	-22,97574	-47,12018	8
01/04/2010	-22,73755	-47,64088	6	01/04/2010	-22,97493	-47,17058	8
01/04/2010	-22,73642	-47,63692	6	01/04/2010	-22,97312	-47,17436	8
01/04/2010	-22,73401	-47,63375	6	01/04/2010	-22,96823	-47,12850	8
01/04/2010	-22,73328	-47,62248	6	01/04/2010	-22,96782	-47,12906	8
01/04/2010	-22,73286	-47,62622	6	01/04/2010	-22,96619	-47,14627	8
01/04/2010	-22,72330	-47,62896	6	01/04/2010	-22,96551	-47,14844	8
01/04/2010	-22,72301	-47,63059	6	01/04/2010	-22,95577	-47,13753	8
01/04/2010	-22,72257	-47,62884	6	01/04/2010	-22,95474	-47,18995	8
01/04/2010	-22,72147	-47,63655	6	01/04/2010	-22,94462	-47,08220	8
01/04/2010	-22,72137	-47,63949	6	01/04/2010	-22,94068	-47,19409	8
01/04/2010	-22,72028	-47,62783	6	01/04/2010	-22,91103	-47,06296	8
01/04/2010	-22,72021	-47,63016	6	01/04/2010	-22,90949	-47,09409	8
01/04/2010	-22,71956	-47,63667	6	01/04/2010	-22,90905	-47,06459	8
01/04/2010	-22,71950	-47,62924	6	01/04/2010	-22,89309	-47,11867	8
01/04/2010	-22,71836	-47,62657	6	01/04/2010	-22,89270	-47,12045	8
01/04/2010	-22,71808	-47,63173	6	01/04/2010	-22,89111	-47,10864	8
01/04/2010	-22,71758	-47,64907	6	01/04/2010	-22,88978	-47,10807	8
01/04/2010	-22,71706	-47,63015	6	01/04/2010	-22,88937	-47,11939	8
01/04/2010	-22,71429	-47,64324	6	01/04/2010	-22,88768	-47,10934	8
01/04/2010	-22,71374	-47,64290	6	01/04/2010	-22,88543	-47,10987	8
01/04/2010	-22,71305	-47,64308	6	01/04/2010	-22,88372	-47,12739	8
01/04/2010	-22,71233	-47,64295	6	01/04/2010	-22,87519	-47,12820	8
01/04/2010	-22,67699	-47,68234	6	01/04/2010	-22,87131	-47,15197	8
01/04/2010	-22,67671	-47,68368	6	01/04/2010	-22,86217	-47,15356	8
01/04/2010	-22,67649	-47,69291	6	01/04/2010	-22,85665	-47,14957	8
01/04/2010	-22,67365	-47,69701	6	01/04/2010	-22,83325	-47,04954	8
01/04/2010	-22,67045	-47,69571	6	01/04/2010	-22,73878	-47,06037	8
01/04/2010	-22,66781	-47,69443	6	01/04/2010	-22,91124	-47,06154	9
01/04/2010	-22,66574	-47,68914	6	01/04/2010	-22,90671	-47,06380	9

Data Emissão	Lat Cliente	Lon Cliente	Cluster/ Viagem	Data Emissão	Lat Cliente	Lon Cliente	Cluster/ Viagem
01/04/2010	-22,90604	-47,03795	9	01/04/2010	-22,87802	-47,05847	9
01/04/2010	-22,90559	-47,06444	9	01/04/2010	-22,86568	-47,03544	9
01/04/2010	-22,90438	-47,06513	9	01/04/2010	-22,86365	-47,06564	9
01/04/2010	-22,90344	-47,06143	9	03/04/2010	-23,27136	-47,29660	10
01/04/2010	-22,89642	-47,07120	9	03/04/2010	-23,20350	-46,87450	10
01/04/2010	-22,89275	-47,05307	9	03/04/2010	-23,20062	-47,28920	10
01/04/2010	-22,88444	-47,06795	9	03/04/2010	-23,19744	-46,87464	10
01/04/2010	-22,88318	-47,03434	9	03/04/2010	-23,18799	-46,87933	10
01/04/2010	-22,88145	-47,05228	9	03/04/2010	-23,03810	-46,98557	10
01/04/2010	-22,87951	-47,03637	9	03/04/2010	-23,01127	-46,84226	10
01/04/2010	-22,87916	-47,07411	9	03/04/2010	-22,97550	-46,99497	10
01/04/2010	-22,87864	-47,05786	9	03/04/2010	-22,96197	-46,98828	10
				03/04/2010	-22,71918	-47,29889	10

APÊNDICE B – LEVANTAMENTO DOS CLUSTERS

Tabela 57 – Levantamento dos Clusters

Viagem Cluster	Dia	Peso	Nº de Entregas	Lat	Lon	Viagem Cluster	Dia	Peso	Nº de Entregas	Lat	Lon
1	1	1795	5	-23,415223	-47,392935	68	7	660	26	-22,950357	-47,125180
2	1	737	23	-22,431016	-47,550348	69	7	2550	3	-22,878568	-47,077429
3	1	401	18	-22,893975	-47,184033	70	7	2665	3	-22,900516	-47,089515
4	1	1232	13	-22,931999	-47,056968	71	7	1069	28	-22,567331	-47,895758
5	1	323	40	-22,737293	-47,327866	72	7	1254	40	-22,939353	-47,064992
6	1	459	39	-22,716038	-47,645999	73	7	809	20	-22,732612	-47,653668
7	1	856	18	-22,777893	-47,158414	74	7	1460	16	-22,793194	-47,272184
8	1	1402	34	-22,923009	-47,121754	75	7	1551	27	-22,779212	-47,377122
9	1	648	17	-22,889429	-47,056530	76	7	1816	26	-22,871635	-47,562187
10	3	5999	10	-23,088220	-47,018067	77	7	1588	17	-22,832105	-47,078267
11	3	2830	8	-22,925456	-47,052505	78	7	1689	35	-22,935148	-47,125327
12	3	926	6	-22,417702	-47,571790	79	7	801	22	-22,792114	-47,064607
13	3	2811	5	-22,867144	-47,045406	80	7	927	40	-23,082051	-47,199783
14	3	1632	11	-22,938719	-47,142531	81	8	618	1	-23,507008	-47,456582
15	3	324	34	-22,579537	-47,411251	82	8	5999	27	-23,024426	-47,003099
16	3	2724	20	-22,727805	-47,660715	83	8	790	14	-22,910774	-47,052913
17	3	900	19	-22,231852	-47,397239	84	8	459	22	-22,946008	-47,115464
18	3	1220	15	-22,741580	-47,188248	85	8	867	22	-22,897270	-47,069922
19	3	1255	16	-22,881598	-47,049079	86	8	1354	29	-22,505233	-47,473827
20	3	1107	24	-23,092268	-47,212755	87	8	992	18	-22,341758	-48,115073
21	5	5999	28	-22,952683	-47,075296	88	8	1985	16	-22,209582	-47,381937
22	5	1042	18	-22,274440	-47,948945	89	8	1464	18	-22,412478	-47,559128
23	5	1248	8	-22,429406	-47,666815	90	8	2232	5	-22,881181	-47,029876
24	5	1210	32	-22,565195	-47,318837	91	8	1847	3	-22,755156	-47,479316
25	5	1013	12	-22,886946	-47,225275	92	8	681	3	-22,972525	-47,253871
26	5	1583	14	-22,961481	-47,083230	93	8	3191	4	-22,921029	-47,092162
27	5	905	26	-22,747493	-47,392797	94	8	1994	5	-22,895531	-47,059692
28	5	1090	39	-22,731237	-47,333528	95	8	1687	14	-22,895590	-47,185319
29	5	1311	18	-22,639598	-47,192690	96	8	1415	22	-22,940728	-47,073976
30	5	1528	24	-22,729028	-47,646628	97	8	1194	40	-22,745954	-47,336652
31	5	2556	17	-22,877435	-47,028166	98	8	1298	8	-22,583335	-47,171361
32	5	1925	32	-22,921388	-47,130407	99	8	945	31	-22,755218	-47,614888
33	5	1430	25	-22,999986	-47,511940	100	8	1588	6	-22,738646	-47,328449
34	5	1369	37	-22,881227	-47,061658	101	8	753	23	-22,708900	-47,667274
35	5	2174	25	-23,075435	-47,198065	102	8	1262	24	-22,764395	-47,164166
36	5	3163	3	-22,896110	-47,050019	103	8	1013	37	-22,935410	-47,127730
37	5	1011	4	-22,707311	-47,653314	104	8	1479	29	-22,889280	-47,054971
38	5	1491	3	-22,733356	-47,640102	105	8	2149	29	-23,094552	-47,217329
39	5	2711	4	-22,920947	-47,096912	106	9	5999	11	-23,051154	-46,973214
40	5	1379	19	-22,858973	-47,045288	107	9	938	22	-22,876874	-47,046718
41	5	719	20	-22,898072	-47,065314	108	9	651	21	-22,936735	-47,128858
42	5	388	15	-22,922602	-47,098567	109	9	369	14	-23,023409	-47,113657
43	5	481	17	-22,980420	-47,125207	110	9	984	30	-22,581333	-47,397015
44	5	1649	27	-22,259319	-47,383244	111	9	1498	38	-22,930560	-47,054843
45	6	5999	27	-22,967490	-47,172095	112	9	1364	21	-22,426642	-47,560838
46	6	1192	25	-22,897979	-47,061480	113	9	1401	29	-22,767588	-47,278840
47	6	527	26	-22,924222	-47,120742	114	9	672	31	-22,941979	-47,138626
48	6	1209	37	-22,679359	-47,670672	115	9	748	29	-22,884138	-47,071318
49	6	1384	20	-22,918305	-47,069655	116	9	1285	20	-23,105981	-47,213552
50	6	1025	28	-22,732272	-47,293284	117	10	1209	1	-22,719183	-47,298889
51	6	931	27	-22,379539	-47,466718	118	10	5999	13	-22,993031	-47,182657
52	6	1821	30	-22,740562	-47,653990	119	10	1081	28	-22,555997	-47,805729
53	6	2280	17	-22,823120	-47,220067	120	10	894	14	-22,930831	-47,067836
54	6	994	21	-22,757421	-47,412906	121	10	995	19	-22,352409	-47,379778
55	6	2449	26	-22,761910	-47,159904	122	10	678	39	-22,726835	-47,638378
56	6	1291	38	-22,951648	-47,137714	123	10	2599	13	-22,771093	-47,253204
57	6	1004	29	-22,900220	-47,055151	124	10	724	33	-22,749381	-47,397325
58	6	1489	13	-22,172221	-47,584934	125	10	1679	20	-22,746866	-47,640427
59	6	2044	39	-23,100854	-47,218779	126	10	1813	19	-22,944159	-47,130627
60	6	2384	3	-22,908764	-47,073215	127	10	1197	17	-22,880782	-47,048200
61	6	1479	3	-22,724839	-47,652140	128	10	4457	3	-22,893535	-47,066526
62	6	2006	3	-22,914032	-47,082284	129	10	1507	3	-22,893213	-47,074020
63	7	5999	15	-23,067488	-47,137346	130	10	1677	4	-22,412237	-47,564482
64	7	763	40	-22,575058	-47,432131	131	10	1118	3	-22,810517	-47,126396
65	7	2008	27	-22,430112	-47,529352	132	10	1342	4	-23,127386	-47,238321
66	7	1277	24	-22,255081	-47,362284	133	12	5999	27	-23,014198	-47,092986
67	7	1239	28	-22,884393	-47,066519	134	12	579	19	-22,935879	-47,111402

Viagem			Nº de			Viagem			Nº de		
Cluster	Dia	Peso	Entregas	Lat	Lon	Cluster	Dia	Peso	Entregas	Lat	Lon
135	12	806	21	-22,894015	-47,055786	206	15	770	25	-22,934040	-47,104224
136	12	2327	5	-23,108337	-47,214135	207	15	1120	31	-22,903141	-47,054541
137	12	740	39	-22,571963	-47,395236	208	15	1421	4	-23,141682	-47,247384
138	12	1505	19	-22,870567	-47,209239	209	15	3269	4	-22,921191	-47,089715
139	12	2068	31	-22,944215	-47,078176	210	15	1728	3	-22,725054	-47,641176
140	12	1239	27	-22,312347	-47,485347	211	15	1903	4	-22,861759	-47,279589
141	12	1454	33	-22,733917	-47,332723	212	15	2238	4	-22,899717	-47,091613
142	12	1935	12	-22,573703	-47,164963	213	15	1089	2	-22,937237	-47,098373
143	12	1586	26	-22,728678	-47,644629	214	15	1097	18	-22,552973	-47,426581
144	12	1013	12	-22,757699	-47,352793	215	15	1405	14	-22,338078	-48,141482
145	12	1695	21	-22,676684	-47,687626	216	15	1348	26	-22,936794	-47,072493
146	12	1791	20	-22,889588	-47,028304	217	15	1180	39	-22,743145	-47,334331
147	12	1745	31	-22,928439	-47,130063	218	15	1922	30	-22,431052	-47,547969
148	12	1982	26	-22,988396	-47,506568	219	15	1526	29	-22,563655	-47,184274
149	12	1057	39	-22,881007	-47,065750	220	15	864	30	-22,714331	-47,654620
150	12	3485	3	-22,917572	-47,093687	221	15	1464	9	-22,737472	-47,381957
151	12	1799	18	-22,345923	-47,385205	222	15	1218	25	-22,760331	-47,620843
152	12	2208	23	-23,072550	-47,199360	223	15	1540	29	-22,784306	-47,142739
153	13	5999	22	-23,063395	-47,076062	224	15	1370	38	-22,934384	-47,130331
154	13	4655	5	-22,815017	-47,072364	225	15	1142	32	-22,890299	-47,053543
155	13	991	33	-22,897526	-47,071069	226	15	1335	17	-22,188504	-47,396731
156	13	864	24	-22,929131	-47,113909	227	15	1122	25	-23,094919	-47,216028
157	13	2023	18	-22,577728	-47,438301	228	16	1022	21	-22,575199	-47,427815
158	13	673	27	-22,363247	-48,024830	229	16	1720	2	-22,920992	-47,041635
159	13	1683	28	-22,917163	-47,061872	230	16	943	30	-22,930993	-47,058053
160	13	840	7	-22,428814	-47,679482	231	16	1047	34	-22,729641	-47,644911
161	13	1114	27	-22,735040	-47,287304	232	16	884	27	-22,834429	-47,241628
162	13	1141	16	-22,401411	-47,567255	233	16	731	33	-22,954441	-47,154311
163	13	1849	27	-22,739308	-47,656286	234	16	1175	28	-22,887823	-47,070024
164	13	1182	17	-22,818723	-47,214653	235	16	799	26	-23,101998	-47,210816
165	13	1282	23	-22,758260	-47,404693	236	17	5999	21	-23,057462	-47,067849
166	13	1181	24	-22,685956	-47,653287	237	17	3185	3	-23,187449	-46,874228
167	13	1372	23	-22,763249	-47,157136	238	17	847	35	-22,931214	-47,048634
168	13	1213	40	-22,952489	-47,140996	239	17	1310	31	-22,906038	-47,076777
169	13	1323	33	-22,899628	-47,053861	240	17	696	29	-22,963478	-47,124479
170	13	1173	24	-22,281074	-47,437625	241	17	985	24	-22,860258	-47,041032
171	13	1135	39	-23,098927	-47,215503	242	17	1524	3	-22,903410	-47,059870
172	13	1735	4	-23,129769	-47,231089	243	17	2609	4	-22,823974	-47,232869
173	13	1996	3	-22,897124	-47,087943	244	17	1765	5	-22,867732	-47,072104
174	13	1025	3	-22,728426	-47,651148	245	17	2765	3	-22,914180	-47,092114
175	13	1745	3	-22,904806	-47,060669	246	17	1161	15	-22,941568	-47,067516
176	13	2556	4	-22,884952	-47,076376	247	17	1079	22	-22,741642	-47,302283
177	14	5999	19	-22,953032	-47,067866	248	17	802	20	-22,412306	-47,548959
178	14	467	21	-22,892491	-47,091709	249	17	2414	20	-22,582682	-47,358609
179	14	1269	26	-22,916349	-47,049644	250	17	1079	32	-22,720841	-47,639661
180	14	429	18	-22,961478	-47,132569	251	17	864	33	-22,751575	-47,391791
181	14	3307	3	-23,088292	-47,207358	252	17	1357	19	-22,622141	-47,727932
182	14	2926	4	-22,881212	-47,105071	253	17	1855	18	-22,945780	-47,136827
183	14	2510	2	-22,605877	-47,714660	254	17	1212	19	-22,882136	-47,049549
184	14	4580	4	-22,763194	-47,158151	255	19	4616	8	-23,067359	-46,931223
185	14	3223	3	-22,888247	-47,034903	256	19	5999	27	-22,925485	-47,177628
186	14	2847	3	-22,922877	-47,096674	257	19	5999	6	-23,070014	-46,963951
187	14	2039	35	-22,538760	-47,441692	258	19	1689	29	-22,917257	-47,058808
188	14	2105	27	-22,562597	-47,903116	259	19	1198	33	-22,925776	-47,118634
189	14	850	40	-22,942391	-47,065951	260	19	1024	9	-22,861790	-47,059372
190	14	1185	19	-22,185291	-47,381053	261	19	1695	6	-23,106251	-47,220883
191	14	1701	7	-22,748262	-47,317828	262	19	2902	3	-22,405211	-47,563532
192	14	983	15	-22,392751	-47,582946	263	19	1335	3	-22,726904	-47,646656
193	14	2399	21	-22,649432	-47,205446	264	19	1575	2	-22,883981	-47,122552
194	14	938	21	-22,732720	-47,654045	265	19	1716	3	-22,892435	-47,034800
195	14	1124	29	-22,816524	-47,265628	266	19	1232	27	-22,560070	-47,398230
196	14	2185	17	-22,767838	-47,396666	267	19	1550	22	-22,870800	-47,211569
197	14	1171	6	-22,712197	-47,645557	268	19	1282	14	-22,536272	-47,895796
198	14	2829	16	-22,826732	-47,072782	269	19	1328	30	-22,951329	-47,084246
199	14	1391	35	-22,936274	-47,127267	270	19	1206	27	-22,211673	-47,577828
200	14	1901	20	-22,854711	-47,624885	271	19	1738	36	-22,730035	-47,335425
201	14	881	24	-22,899002	-47,067023	272	19	1539	18	-22,399629	-47,555574
202	14	1765	7	-22,363584	-47,379327	273	19	1530	13	-22,563648	-47,190836
203	14	1036	40	-23,080775	-47,197982	274	19	1219	28	-22,728712	-47,646090
204	15	5999	31	-22,974257	-47,097759	275	19	1868	10	-22,752688	-47,381141
205	15	3947	2	-23,195080	-46,886242	276	19	2220	13	-22,834190	-47,059911

Viagem Cluster	Dia	Peso	Nº de Entregas	Lat	Lon	Viagem Cluster	Dia	Peso	Nº de Entregas	Lat	Lon
277	19	990	38	-22,926521	-47,120499	351	23	587	34	-22,892265	-47,070668
278	19	1550	26	-22,986829	-47,522468	352	24	4547	7	-23,148930	-47,038243
279	19	1066	34	-22,884658	-47,061328	353	24	2945	35	-22,890780	-47,036236
280	19	1568	15	-22,351323	-47,386690	354	24	1342	32	-22,914149	-47,087876
281	19	1812	29	-23,073751	-47,200561	355	24	1002	31	-22,991809	-47,138202
282	19	2051	2	-23,096155	-47,195850	356	24	4686	4	-22,900380	-47,062911
283	20	5999	28	-23,059414	-47,091150	357	24	1267	3	-22,733248	-47,636548
284	20	782	18	-22,867286	-47,109337	358	24	1952	6	-22,864272	-47,098791
285	20	751	33	-22,943859	-47,128030	359	24	906	38	-22,581778	-47,413575
286	20	980	23	-22,905625	-47,040193	360	24	985	10	-22,527638	-47,787311
287	20	1247	31	-22,907128	-47,064363	361	24	2061	13	-22,922462	-47,056803
288	20	1705	4	-23,083627	-47,204979	362	24	842	40	-22,733373	-47,320728
289	20	1884	4	-22,898863	-47,066943	363	24	2283	10	-22,419721	-47,570338
290	20	2574	3	-22,924874	-47,091520	364	24	1141	31	-22,728109	-47,658406
291	20	1378	4	-22,734076	-47,632974	365	24	1889	26	-22,858274	-47,217171
292	20	2304	4	-22,895541	-47,080667	366	24	2336	20	-22,945335	-47,141146
293	20	1285	31	-22,962411	-47,149718	367	24	1282	12	-22,870251	-47,044683
294	20	1340	34	-22,566262	-47,427175	368	24	1863	24	-22,323389	-47,376652
295	20	1847	33	-22,493868	-47,954698	369	24	1705	31	-22,090098	-47,204478
296	20	1786	38	-22,919142	-47,058449	370	26	3560	6	-22,836497	-47,109166
297	20	1094	11	-22,173693	-47,594533	371	26	5999	14	-23,020214	-47,072405
298	20	1380	6	-22,735329	-47,301734	372	26	1025	25	-22,921034	-47,043593
299	20	1616	19	-22,403919	-47,571074	373	26	1105	27	-22,876830	-47,067792
300	20	2071	20	-22,729178	-47,653610	374	26	482	25	-22,944706	-47,124343
301	20	1475	29	-22,821113	-47,236135	375	26	3407	3	-22,922877	-47,096674
302	20	909	25	-22,761819	-47,408887	376	26	2839	2	-23,168427	-47,255918
303	20	1391	30	-22,721028	-47,659989	377	26	3216	3	-23,098084	-47,210689
304	20	1962	23	-22,759424	-47,157430	378	26	2521	3	-22,935760	-47,072017
305	20	551	16	-22,918334	-47,099786	379	26	2622	4	-22,735514	-47,630774
306	20	1411	7	-22,856070	-47,612190	380	26	2391	3	-22,770729	-47,618006
307	20	1240	27	-22,897644	-47,053785	381	26	1948	3	-22,819065	-47,192205
308	20	2331	22	-22,650440	-47,188543	382	26	1865	2	-22,892753	-47,057942
309	20	808	6	-22,348556	-47,323138	383	26	256	5	-22,890504	-46,978070
310	20	977	39	-23,097763	-47,215466	384	26	1516	18	-22,558750	-47,408556
311	20	2953	4	-22,892966	-47,046924	385	26	2353	20	-22,865563	-47,204204
312	22	5999	11	-22,948684	-47,080756	386	26	2093	35	-22,942967	-47,075305
313	22	5999	26	-23,001483	-47,109967	387	26	1796	10	-22,755395	-47,300258
314	22	1058	7	-22,445348	-47,540208	388	26	1089	38	-22,734234	-47,333407
315	22	2549	18	-22,404740	-47,564759	389	26	1530	18	-22,398003	-47,555921
316	22	1787	16	-22,233178	-47,381962	390	26	1926	16	-22,578427	-47,169141
317	22	2017	11	-22,911977	-47,012031	391	26	1302	25	-22,726325	-47,646156
318	22	1696	38	-22,550658	-47,384389	392	26	1940	9	-22,742118	-47,392748
319	22	1999	21	-22,933807	-47,070951	393	26	1013	32	-22,684327	-47,671671
320	22	1011	37	-22,742580	-47,337311	394	26	1634	11	-22,827724	-47,067949
321	22	2359	16	-22,571364	-47,170040	395	26	2161	37	-22,955428	-47,149598
322	22	1401	30	-22,753785	-47,622130	396	26	2009	25	-22,996329	-47,502760
323	22	2063	10	-22,744377	-47,386597	397	26	1357	39	-22,883576	-47,063283
324	22	1090	22	-22,706936	-47,663254	398	26	1732	17	-22,886778	-47,133049
325	22	1346	17	-22,765081	-47,170261	399	26	1309	24	-22,262308	-47,392266
326	22	2801	17	-22,952610	-47,111706	400	26	1033	24	-23,089399	-47,210566
327	22	1180	27	-22,894157	-47,051980	401	27	5999	18	-22,980108	-47,143046
328	22	1602	38	-23,102750	-47,221036	402	27	5999	20	-23,059636	-47,033592
329	22	3054	7	-23,101302	-47,216679	403	27	1305	35	-22,920728	-47,063954
330	22	1123	4	-22,901178	-47,238170	404	27	2071	32	-22,887315	-47,057776
331	22	2102	5	-22,754244	-47,631804	405	27	1210	35	-22,935184	-47,129751
332	22	1339	4	-22,731571	-47,316478	406	27	5634	2	-22,934593	-47,038849
333	22	2293	2	-22,884811	-47,053755	407	27	5999	3	-22,895229	-47,063633
334	22	2970	3	-22,835163	-47,073448	408	27	5999	3	-22,909935	-47,084536
335	22	2601	2	-22,920321	-47,085942	409	27	2181	3	-22,887608	-47,073287
336	22	873	34	-22,908219	-47,049265	410	27	1770	4	-22,891593	-47,197535
337	22	2323	7	-22,866435	-47,078866	411	27	2384	3	-22,826835	-47,237902
338	22	801	35	-22,921399	-47,093786	412	27	1636	3	-22,714771	-47,652666
339	22	1607	12	-22,954237	-47,144281	413	27	2478	3	-22,728064	-47,643169
340	23	469	1	-23,506680	-47,471169	414	27	1813	3	-22,894134	-47,087319
341	23	5999	11	-23,129229	-47,151444	415	27	3117	2	-22,852331	-47,083673
342	23	1374	24	-22,892641	-47,186495	416	27	965	36	-22,606757	-47,314110
343	23	639	18	-22,333113	-48,123554	417	27	1058	19	-22,345593	-47,797524
344	23	845	30	-22,935838	-47,048824	418	27	1680	28	-22,917543	-47,065975
345	23	858	16	-22,422872	-47,568145	419	27	1836	17	-22,398094	-47,569525
346	23	383	40	-22,730386	-47,634122	420	27	1097	35	-22,740436	-47,651215
347	23	1982	37	-22,820962	-47,227944	421	27	2334	36	-22,817825	-47,229995
348	23	1091	29	-22,747162	-47,380993	422	27	913	24	-22,753152	-47,408762
349	23	1185	25	-22,953706	-47,125028	423	27	1786	14	-22,684990	-47,646244
350	23	2172	3	-22,911847	-47,064862	424	27	1704	22	-22,762549	-47,154506

Viagem						Viagem					
Cluster	Dia	Peso	Nº de Entregas	Lat	Lon	Cluster	Dia	Peso	Nº de Entregas	Lat	Lon
425	27	1275	40	-22,950705	-47,142568	466	29	1618	4	-22,734742	-47,647379
426	27	452	21	-22,899905	-47,052373	467	29	1118	32	-22,572122	-47,409601
427	27	1675	11	-22,301526	-47,361941	468	29	2744	6	-22,944134	-47,113600
428	27	1288	39	-23,102376	-47,221323	469	29	1256	28	-22,895612	-47,201840
429	28	5999	5	-22,940918	-47,159321	470	29	871	17	-22,358193	-48,102753
430	28	5999	18	-23,013576	-47,091735	471	29	872	28	-22,936475	-47,074486
431	28	3437	10	-22,850401	-47,093669	472	29	1268	35	-22,744409	-47,334894
432	28	762	35	-22,934368	-47,126801	473	29	1029	10	-22,540921	-47,200825
433	28	1462	35	-22,906506	-47,068483	474	29	1946	33	-22,435428	-47,547299
434	28	1487	24	-22,907830	-47,040839	475	29	560	30	-22,714138	-47,656892
435	28	2050	32	-22,487780	-48,006726	476	29	1594	6	-22,802543	-47,240534
436	28	1878	26	-22,180947	-47,481942	477	29	1290	11	-22,750473	-47,391341
437	28	2792	4	-23,089391	-47,205948	478	29	3102	24	-22,756584	-47,621679
438	28	1493	3	-22,933569	-47,089023	479	29	1216	27	-22,763637	-47,167064
439	28	4836	2	-22,888257	-47,065182	480	29	1470	37	-22,929827	-47,131635
440	28	2561	2	-22,861948	-47,079004	481	29	1231	29	-22,891131	-47,052266
441	28	1745	27	-22,563503	-47,434257	482	29	2137	11	-22,870370	-47,021002
442	28	2872	17	-22,564542	-47,169199	483	29	1233	31	-23,095050	-47,216714
443	28	752	40	-22,945153	-47,066862	484	29	3694	12	-22,952708	-47,161794
444	28	1489	15	-22,432820	-47,429044	485	29	1197	32	-22,900215	-47,076100
445	28	1182	11	-22,748453	-47,303849	486	29	506	23	-22,961381	-47,109611
446	28	953	18	-22,393920	-47,581899	487	29	897	33	-22,886783	-47,047033
447	28	1280	23	-22,729157	-47,654140	488	29	2555	3	-22,760932	-47,404086
448	28	1368	6	-22,820340	-47,244769	489	29	2622	5	-22,737105	-47,306350
449	28	2148	22	-22,766018	-47,394944	490	29	2379	2	-22,869745	-47,072294
450	28	1648	18	-22,917931	-47,267317	491	30	1246	6	-23,272819	-47,180424
451	28	3129	16	-22,829431	-47,084337	492	30	1010	24	-22,578638	-47,398847
452	28	2702	34	-22,934257	-47,123012	493	30	710	32	-22,541807	-47,924589
453	28	1994	22	-22,859191	-47,618660	494	30	743	37	-22,924383	-47,056008
454	28	865	24	-22,897930	-47,064592	495	30	1359	14	-22,748610	-47,630828
455	28	715	20	-22,787785	-47,295915	496	30	821	18	-22,419486	-47,566296
456	28	688	40	-23,080668	-47,195024	497	30	774	36	-22,725461	-47,638969
457	29	2702	6	-23,236964	-47,298137	498	30	571	34	-22,825006	-47,220525
458	29	5230	6	-22,906214	-47,173933	499	30	558	19	-22,728280	-47,658365
459	29	5999	24	-22,936935	-47,043084	500	30	1188	38	-22,951326	-47,149396
460	29	2405	6	-22,353001	-47,339154	501	30	431	20	-22,887291	-47,072804
461	29	1107	12	-22,172021	-47,403907	502	30	1375	24	-23,096322	-47,207555
462	29	3426	3	-22,909343	-47,056714	503	30	858	40	-22,733364	-47,338220
463	29	2579	5	-23,092554	-47,204831	504	30	564	19	-23,002230	-47,134201
464	29	2970	4	-22,410600	-47,567751	505	30	1234	30	-22,924486	-47,087551
465	29	1983	4	-22,788171	-47,157074	506	30	1705	23	-22,891628	-47,055522
						507	30	1171	24	-22,321731	-47,378712

APÊNDICE C – DETALHAMENTO DO MODELO P-MEDIANAS

Detalhes do modelo P-Mediana

Função Objetivo		2.840,73	
TP1	Lat TP	22,784031	Lon TP
TP2		23,080775	47,197982
TP3		22,890140	47,225246

Nº de Entregas	Lat Cluster	Lon Cluster	Variáveis de Alocação			Restrição de Atendimento			Custo (Distância)		
40	22,737293	47,327866	1	0	0	1	=	1	2,34	-	-
40	22,716038	47,645999	1	0	0	1	=	1	14,39	-	-
40	22,731237	47,333528	1	0	0	1	=	1	2,67	-	-
40	22,679359	47,670672	1	0	0	1	=	1	15,69	-	-
40	23,100854	47,218779	1	0	0	1	=	1	13,01	-	-
40	22,575058	47,432131	1	0	0	1	=	1	10,05	-	-
40	22,939353	47,064992	1	0	0	1	=	1	11,02	-	-
40	23,082051	47,199783	0	0	1	1	=	1	-	7,74	-
40	22,745954	47,336652	0	0	1	1	=	1	-	7,29	-
40	22,935410	47,127730	0	0	1	1	=	1	-	4,30	-
40	22,881007	47,065750	0	0	1	1	=	1	-	6,39	-
40	22,952489	47,140996	0	0	1	1	=	1	-	4,19	-
40	23,098927	47,215503	0	0	1	1	=	1	-	8,36	-
40	22,942391	47,065951	0	0	1	1	=	1	-	6,71	-
40	23,080775	47,197982	0	1	0	1	=	1	-	-	-
40	22,934384	47,130331	0	0	1	1	=	1	-	4,19	-
40	22,926521	47,120499	0	0	1	1	=	1	-	4,44	-
40	23,097763	47,215466	0	0	1	1	=	1	-	8,31	-
40	22,730386	47,634122	0	0	1	1	=	1	-	17,56	-
40	22,820962	47,227944	0	0	1	1	=	1	-	2,77	-
40	22,581778	47,413575	0	0	1	1	=	1	-	14,45	-

Figura 36 – Visualização do modelo de localização

APÊNDICE D – MODELO TSP GERADO

Exemplo de modelo TSP gerado

```

$title Traveling Salesman Problem
$eolcom //
$ontext
Esse é um modelo desenvolvido para o TF de Fábio Luís Bresslau do ano 2010.
O TF tem, com meta, estudar a parte de distribuição de produtos laticínios
na região de Campinas - SP.

$offtext

set ii  cities / i1*i6/
    i(ii) subset of cities
alias (ii,jj),(i,j,k);

parameters c(ii,jj) Distancias entre pontos de distribuição;

$include Dist_MVL_TP2_C1.prn

variables x(ii,jj) decision variables - leg of trip
          z        objective variable;
binary variable x;

equations objective  total cost
    rowsum(ii) leave each city only once
    colsum(jj) arrive at each city only once;
*
*
* the assignment problem is a relaxation of the TSP
*
objective.. z =e= sum((i,j), c(i,j)*x(i,j));

rowsum(i).. sum(j, x(i,j)) =e= 1;
colsum(j).. sum(i, x(i,j)) =e= 1;

* exclude diagonal
*
x.fx(ii,ii) = 0;

set ij(ii,jj) exclude first row and column; ij(ii,jj) = ord(ii)>1 and ord(jj)>1;

variable u(ii) subtour elimination strategy 3

equation se(ii,jj) subtour elimination constraints;

se(ij(i,j)).. u(i) - u(j) + card(i)*x(i,j) =l= card(i) - 1;

model tsp / objective, rowsum, colsum, se /;

```

```
i(ii) = ord(ii) <=6
```

```
OPTION MIP = CPLEX ;
tsp.optfile = 0;
tsp.reslim = 1200;
option optcr=0.000001;
solve tsp min z using mip;
display x.l;
```

```
FILE SAIDA_MVL_TP2_C1
PUT SAIDA_MVL_TP2_C1
```

```
PUT @0 'Origem';
PUT @15 'Destino';
```

```
LOOP (ii,
  LOOP (jj,
    IF (x.L(ii,jj) NE 0,
      put @0 ii.tl ;
      put @15 jj.tl / ;
    );
  );
);
```

```
put / @30 'Km=      'z.L /;
put / @30 'Objest=   'tsp.Objest /;
put / @30 'Model stats= 'tsp.modelstat /;
put / @30 'Solve stats= 'tsp.solvestat /;
put / @30 'Resource = 'tsp.resusd /;
put / @30 'Iterations = 'tsp.iterusd /;
```

```
PUTCLOSE SAIDA_MVL_TP2_C1
```

```
FILE sair /TUDO.TXT/
PUT sair ;
sair.ap = 1 ;
```

```
put @0 'MVL_TP2_C1' ;
put @15 z.L:0:2 ;
put @30 tsp.Objest:0:2 ;
put @45 tsp.modelstat:0:0 ;
put @60 tsp.solvestat:0:0 ;
put @75 tsp.resusd:0:0 ;
put @90 tsp.iterusd:0:0 /;
```

```
PUTCLOSE sair
```

APÊNDICE E – ARQUIVO DE ENTRADA (TSP)

Exemplo de arquivo de entrada para o modelo TSP mencionado no Apêndice D

```

c('i1','i1')=0;
c('i1','i2')=88.12;
c('i1','i3')=86.72;
c('i1','i4')=82.54;
c('i1','i5')=50;
c('i1','i6')=50.18;
c('i2','i1')=88.12;
c('i2','i2')=0;
c('i2','i3')=3.29;
c('i2','i4')=6.09;
c('i2','i5')=40.42;
c('i2','i6')=40.89;
c('i3','i1')=86.72;
c('i3','i2')=3.29;
c('i3','i3')=0;
c('i3','i4')=4.21;
c('i3','i5')=38.36;
c('i3','i6')=38.75;
c('i4','i1')=82.54;
c('i4','i2')=6.09;
c('i4','i3')=4.21;
c('i4','i4')=0;
c('i4','i5')=34.41;
c('i4','i6')=34.85;
c('i5','i1')=50;
c('i5','i2')=40.42;
c('i5','i3')=38.36;
c('i5','i4')=34.41;
c('i5','i5')=0;
c('i5','i6')=1.36;
c('i6','i1')=50.18;
c('i6','i2')=40.89;
c('i6','i3')=38.75;
c('i6','i4')=34.85;
c('i6','i5')=1.36;
c('i6','i6')=0;

```

APÊNDICE F – ARQUIVO DE SAÍDA (TSP)

Tabela 58 – Exemplo de saída gerado pelo modelo TSP

Arcos Gerados			
Origem	Destino	Km=	181.57
i1	i2	Objet=	181.57
i2	i3	Model stats=	1
i3	i4	Solve stats=	1
i4	i5	Resource =	0.05
i5	i6	Iterations =	32
i6	i1		

APÊNDICE G – ARQUIVO RESUMIDO DE SAÍDA (TSP)

Saída resumida dos modelos gerados

Cenário M0 - Base

Tabela 59 – Saída Resumida para o Cenário M0 gerado pelo modelo TSP

NOME	Km	Objes	Model	Solve	Resou	Itera
MVL_TP2_C1	181.57	181.57	1	1	0	32
MVL_TP2_C1	181.57	181.57	1	1	0	32
MVL_TP1_C2	237.79	235.34	8	3	1199	5265879
MVL_TP1_C3	83.66	83.66	1	1	0	3526
MVL_TP1_C4	53.04	53.04	1	1	25	1450475
MVL_TP1_C5	149.52	146.46	8	3	1200	8603129
MVL_TP1_C6	213.66	199.09	8	3	1200	3865239
MVL_TP1_C7	101.77	83.37	8	3	1200	7285708
MVL_TP1_C8	134.64	131.79	8	3	1200	15788367
MVL_TP1_C9	59.93	59.93	1	1	2	65947
MVL_TP2_C10	242.16	242.16	1	1	0	180
MVL_TP1_C11	54.87	54.87	1	1	0	33
MVL_TP1_C12	234.39	234.39	1	1	0	177
MVL_TP1_C13	63.63	63.63	1	1	0	51
MVL_TP1_C14	81.69	81.69	1	1	0	204
MVL_TP1_C15	192.79	192.79	1	1	54	657377
MVL_TP1_C16	214.03	214.03	1	1	0	656
MVL_TP1_C17	280.31	246.62	8	3	1200	4201909
MVL_TP1_C18	160.39	160.39	1	1	9	265205
MVL_TP1_C19	55.99	55.99	1	1	10	258328
MVL_TP1_C20	112.74	104.35	8	3	1200	8499751
MVL_TP2_C21	394.62	387.04	8	3	1200	8181866
MVL_TP1_C22	370.72	258.26	8	3	1200	30447154
MVL_TP1_C23	254.6	254.6	1	1	0	3905
MVL_TP1_C24	203.67	169.83	8	3	1200	6224030
MVL_TP1_C25	101.41	101.41	1	1	0	2391
MVL_TP1_C26	55.51	54.62	8	3	1201	12811193
MVL_TP1_C27	145.96	145.96	1	1	22	319746
MVL_TP1_C28	144.83	142.9	8	3	1200	5124595
MVL_TP1_C29	128.24	128.24	1	1	0	2029
MVL_TP1_C30	194.02	191.83	8	3	1200	4045708
MVL_TP1_C31	102.53	102.53	1	1	25	611724
MVL_TP1_C32	88.11	88.11	1	1	907	7831624
MVL_TP1_C33	142.7	142.7	1	1	9	159127
MVL_TP1_C34	74.78	74.78	1	1	244	2754210
MVL_TP1_C35	103.05	85.21	8	3	1200	5091152
MVL_TP1_C36	46.56	46.56	1	1	0	15

NOME	Km	Objes	Model	Solve	Resou	Itera
MVL_TP1_C37	200.67	200.67	1	1	0	44
MVL_TP1_C38	187.62	187.62	1	1	0	13
MVL_TP1_C39	48.58	48.58	1	1	0	41
MVL_TP1_C40	86.91	86.91	1	1	6	134125
MVL_TP1_C41	56.81	55.83	8	3	1200	8795492
MVL_TP1_C42	53.76	53.76	1	1	0	231
MVL_TP1_C43	70.12	70.12	1	1	0	1429
MVL_TP1_C44	269.49	238.31	8	3	1200	10600437
MVL_TP2_C45	295.99	187.32	8	3	1200	6468713
MVL_TP1_C46	60.02	58.5	8	3	1200	5995766
MVL_TP1_C47	75.56	75.56	1	1	7	69228
MVL_TP1_C48	213.01	204	8	3	1200	7555033
MVL_TP1_C49	53.33	51.91	8	3	1200	10809252
MVL_TP1_C50	136.89	128.63	8	3	1200	1793653
MVL_TP1_C51	269.08	241.79	8	3	1200	4527874
MVL_TP1_C52	211.38	209.74	8	3	1200	17603734
MVL_TP1_C53	113.44	113.44	1	1	9	286245
MVL_TP1_C54	152.29	152.29	1	1	63	1833351
MVL_TP1_C55	109.08	97.3	8	3	1200	4036060
MVL_TP1_C56	86.14	83.36	8	3	1200	8944364
MVL_TP1_C57	58.76	58.76	1	1	0	352
MVL_TP1_C58	315.47	315.47	1	1	458	4885156
MVL_TP1_C59	92.01	92.01	1	1	166	1516826
MVL_TP1_C60	48.51	48.51	1	1	0	14
MVL_TP1_C61	192.16	192.16	1	1	0	15
MVL_TP1_C62	46.66	46.66	1	1	0	13
MVL_TP2_C63	365.49	365.49	1	1	6	195472
MVL_TP1_C64	208.82	203.57	8	3	1200	7106366
MVL_TP1_C65	243.73	217.45	8	3	1200	2530275
MVL_TP1_C66	270.13	229.26	8	3	1200	4818484
MVL_TP1_C67	89.35	83.87	8	3	1200	8041674
MVL_TP1_C68	75.33	75.33	1	1	6	61536
MVL_TP1_C69	57.09	57.09	1	1	0	15
MVL_TP1_C70	53.05	53.05	1	1	0	13
MVL_TP1_C71	280.01	230.28	8	3	1200	5799891
MVL_TP1_C72	95.91	95.91	1	1	22	183089
MVL_TP1_C73	197.05	190.1	8	3	1200	8003449
MVL_TP1_C74	127.04	119.8	8	3	1200	32409450
MVL_TP1_C75	140.76	100.78	8	3	1200	3531523
MVL_TP1_C76	199.88	143.2	8	3	1200	5985116
MVL_TP1_C77	104.48	90.17	8	3	1200	33803746
MVL_TP1_C78	94.49	89.6	8	3	1200	6919704
MVL_TP1_C79	73.27	68.13	8	3	1200	9573544
MVL_TP1_C80	121.49	111.68	8	3	1200	5083054
MVL_TP2_C81	170.78	170.78	1	1	0	0
MVL_TP2_C82	355.09	355.09	1	1	72	829400
MVL_TP1_C83	56.57	56.57	1	1	0	252
MVL_TP1_C84	68.5	68.5	1	1	39	717355
MVL_TP1_C85	78.23	78.23	1	1	50	971616
MVL_TP1_C86	221.11	186.47	8	3	1200	11358638
MVL_TP1_C87	374.51	325.59	8	3	1200	5388016
MVL_TP1_C88	284.89	263.26	8	3	1200	5361940
MVL_TP1_C89	236.84	236.84	1	1	0	2708
MVL_TP1_C90	72.06	72.06	1	1	0	31
MVL_TP1_C91	194.51	194.51	1	1	0	14
MVL_TP1_C92	100.6	100.6	1	1	0	15
MVL_TP1_C93	45.23	45.23	1	1	0	17
MVL_TP1_C94	50.97	50.97	1	1	0	21
MVL_TP1_C95	86.72	86.72	1	1	0	294
MVL_TP1_C96	59.77	59.77	1	1	7	128437
MVL_TP1_C97	143.71	142.86	8	3	1200	7746528
MVL_TP1_C98	143.8	143.8	1	1	0	6705
MVL_TP1_C99	213.03	203.14	8	3	1200	4179166
MVL_TP1_C100	145.52	145.52	1	1	0	73
MVL_TP1_C101	211.84	205.92	8	3	1200	5650157
MVL_TP1_C102	107.14	86.8	8	3	1200	5832662
MVL_TP1_C103	131.81	125.34	8	3	1200	8919199
MVL_TP1_C104	72.79	72.79	1	1	2	2036
MVL_TP1_C105	83.6	80.93	8	3	1200	7961207
MVL_TP2_C106	210.07	210.07	1	1	1	22523
MVL_TP1_C107	86.18	86.18	1	1	32	597884
MVL_TP1_C108	89.14	89.14	1	1	14	322148

NOME	Km	Objes	Model	Solve	Resou	Itera
MVL_TP1_C109	47.68	47.68	1	1	1	13775
MVL_TP1_C110	208.33	173.19	8	3	1200	4075548
MVL_TP1_C111	69.18	69.18	1	1	67	845664
MVL_TP1_C112	239.07	236.73	8	3	1200	9548833
MVL_TP1_C113	137.4	125.71	8	3	1200	8577164
MVL_TP1_C114	93.48	92.65	8	3	1200	9188938
MVL_TP1_C115	77.13	67.41	8	3	1200	8168402
MVL_TP1_C116	77.72	71.21	8	3	1200	7244047
MVL_TP2_C117	132.98	132.98	1	1	0	0
MVL_TP2_C118	272.19	272.19	1	1	1	9211
MVL_TP1_C119	280.31	209.41	8	3	1200	8470250
MVL_TP1_C120	72.3	72.3	1	1	0	2513
MVL_TP1_C121	260.72	260.72	1	1	2	33245
MVL_TP1_C122	204.76	204.76	1	1	34	241557
MVL_TP1_C123	143.54	143.54	1	1	16	684452
MVL_TP1_C124	145.84	145.84	1	1	87	981243
MVL_TP1_C125	205.66	201.63	8	3	1200	18642461
MVL_TP1_C126	73.74	73.74	1	1	1	6116
MVL_TP1_C127	56.51	50.74	8	3	1200	5241661
MVL_TP1_C128	45.59	45.59	1	1	0	14
MVL_TP1_C129	51.31	51.31	1	1	0	13
MVL_TP1_C130	225.58	225.58	1	1	0	45
MVL_TP1_C131	87.56	87.56	1	1	0	19
MVL_TP1_C132	108.06	108.06	1	1	0	56
MVL_TP2_C133	372.45	345.71	8	3	1200	10059374
MVL_TP1_C134	61.56	59	8	3	1200	5850650
MVL_TP1_C135	59.12	59.12	1	1	0	1871
MVL_TP1_C136	69.21	69.21	1	1	0	78
MVL_TP1_C137	215.31	196.43	8	3	1200	7318769
MVL_TP1_C138	92.01	89.31	8	3	1200	8643728
MVL_TP1_C139	69.8	67.13	8	3	1200	7654982
MVL_TP1_C140	285.9	246.18	8	3	1200	5454328
MVL_TP1_C141	142.13	140.64	8	3	1200	8312949
MVL_TP1_C142	143.39	143.39	1	1	0	74
MVL_TP1_C143	192.97	187.44	8	3	1200	4622795
MVL_TP1_C144	140.32	140.32	1	1	296	3289519
MVL_TP1_C145	211.56	203.45	8	3	1200	6032715
MVL_TP1_C146	173.33	164.67	8	3	1200	30787651
MVL_TP1_C147	92.43	90.06	8	3	1200	13329502
MVL_TP1_C148	186.87	137.28	8	3	1200	6820851
MVL_TP1_C149	73.95	73.95	1	1	41	368760
MVL_TP1_C150	45.22	45.22	1	1	0	15
MVL_TP1_C151	224.32	223.02	8	3	1200	7653227
MVL_TP1_C152	102.8	77.95	8	3	1200	8073320
MVL_TP2_C153	292.94	292.94	1	1	9	155308
MVL_TP2_C154	142.04	142.04	1	1	0	26
MVL_TP1_C155	102.84	101.81	8	3	1200	6483531
MVL_TP1_C156	81.43	81.43	1	1	332	3059802
MVL_TP1_C157	201.68	155.11	8	3	1200	6363184
MVL_TP1_C158	394.86	314.49	8	3	1200	8165678
MVL_TP1_C159	58.17	58.17	1	1	15	182740
MVL_TP1_C160	255.45	255.45	1	1	0	1507
MVL_TP1_C161	130.18	94.64	8	3	1200	3801736
MVL_TP1_C162	240.21	240.21	1	1	2	22768
MVL_TP1_C163	216.36	214.43	8	3	1200	7584022
MVL_TP1_C164	107.75	107.75	1	1	0	1937
MVL_TP1_C165	152.57	115.24	8	3	1200	6025856
MVL_TP1_C166	210.4	210.4	1	1	18	286053
MVL_TP1_C167	108.16	97.84	8	3	1200	11154855
MVL_TP1_C168	86.47	84.75	8	3	1200	11176426
MVL_TP1_C169	56.94	56.94	1	1	90	1046409
MVL_TP1_C170	321.85	306.01	8	3	1200	8882634
MVL_TP1_C171	101.67	68.54	8	3	1200	6535663
MVL_TP1_C172	106.15	106.15	1	1	0	16
MVL_TP1_C173	52.24	52.24	1	1	0	16
MVL_TP1_C174	193.06	193.06	1	1	0	15
MVL_TP1_C175	42.02	42.02	1	1	0	11
MVL_TP1_C176	56.95	56.95	1	1	0	43
MVL_TP2_C177	251.8	251.8	1	1	181	2832281
MVL_TP1_C178	79.38	75.83	8	3	1200	9455959
MVL_TP1_C179	55.17	55.17	1	1	1	4421
MVL_TP1_C180	70.27	70.27	1	1	225	4419959

NOME	Km	Objes	Model	Solve	Resou	Itera
MVL_TP1_C181	61.91	61.91	1	1	0	12
MVL_TP1_C182	65.47	65.47	1	1	0	32
MVL_TP1_C183	247	247	1	1	0	0
MVL_TP1_C184	88.2	88.2	1	1	0	26
MVL_TP1_C185	48.96	48.96	1	1	0	15
MVL_TP1_C186	44.17	44.17	1	1	0	14
MVL_TP1_C187	205.58	189.69	8	3	1200	3325231
MVL_TP1_C188	279.63	271.59	8	3	1200	4156892
MVL_TP1_C189	90.39	90.39	1	1	488	6041014
MVL_TP1_C190	278.78	278.78	1	1	3	82171
MVL_TP1_C191	131.61	131.61	1	1	0	43
MVL_TP1_C192	243.31	243.31	1	1	2	30260
MVL_TP1_C193	151.69	135.02	8	3	1200	7147011
MVL_TP1_C194	195.93	195.57	8	3	1200	11714831
MVL_TP1_C195	124.61	117.94	8	3	1200	2697854
MVL_TP1_C196	137.91	137.91	1	1	84	1585385
MVL_TP1_C197	201.4	201.4	1	1	0	25
MVL_TP1_C198	84.46	69.11	8	3	1200	7004720
MVL_TP1_C199	98.87	97.92	8	3	1200	9587729
MVL_TP1_C200	194.97	165.59	8	3	1200	11328010
MVL_TP1_C201	73.06	63.09	8	3	1200	5813929
MVL_TP1_C202	218.52	218.52	1	1	0	372
MVL_TP1_C203	121.66	111.23	8	3	1200	4468138
MVL_TP2_C204	385.1	372.48	8	3	1200	10481564
MVL_TP2_C205	37.25	37.25	1	1	0	0
MVL_TP1_C206	64.94	56.93	8	3	1200	4310817
MVL_TP1_C207	66.66	64.37	8	3	1200	4225361
MVL_TP1_C208	107.91	107.91	1	1	0	17
MVL_TP1_C209	71.96	71.96	1	1	0	32
MVL_TP1_C210	201.15	201.15	1	1	0	15
MVL_TP1_C211	120.02	120.02	1	1	0	32
MVL_TP1_C212	53.84	53.84	1	1	0	14
MVL_TP1_C213	41.86	41.86	1	1	0	0
MVL_TP1_C214	228.48	225.09	8	3	1200	10578399
MVL_TP1_C215	371.78	349.84	8	3	1200	11875621
MVL_TP1_C216	62	62	1	1	294	6097928
MVL_TP1_C217	149.47	141.49	8	3	1200	4188224
MVL_TP1_C218	240.57	233.79	8	3	1200	5064385
MVL_TP1_C219	182.36	117.56	8	3	1200	6348813
MVL_TP1_C220	206.78	190.24	8	3	1200	6681922
MVL_TP1_C221	138.37	138.37	1	1	0	62
MVL_TP1_C222	197.57	197.57	1	1	23	210698
MVL_TP1_C223	117.94	81.79	8	3	1200	4401361
MVL_TP1_C224	136.8	130.05	8	3	1200	8044714
MVL_TP1_C225	73.63	73.63	1	1	6	53947
MVL_TP1_C226	279.31	249.09	8	3	1200	6432003
MVL_TP1_C227	82.82	82.82	1	1	3	9299
MVL_TP1_C228	221.78	221.78	1	1	4	47244
MVL_TP1_C229	43.2	43.2	1	1	0	0
MVL_TP1_C230	67.86	67.86	1	1	145	1820420
MVL_TP1_C231	214.28	209.83	8	3	1200	8186954
MVL_TP1_C232	114.14	110.01	8	3	1200	2933208
MVL_TP1_C233	85.09	78.63	8	3	1200	5819966
MVL_TP1_C234	74.29	64.74	8	3	1200	10834766
MVL_TP1_C235	81.58	77.58	8	3	1200	4177681
MVL_TP2_C236	313.79	313.79	1	1	1	10877
MVL_TP2_C237	39.92	39.92	1	1	0	12
MVL_TP1_C238	55.92	55.92	1	1	55	688824
MVL_TP1_C239	73.24	59.93	8	3	1200	8342579
MVL_TP1_C240	101.01	101.01	1	1	5	35338
MVL_TP1_C241	99.51	99.51	1	1	5	57113
MVL_TP1_C242	42.97	42.97	1	1	0	14
MVL_TP1_C243	99.61	99.61	1	1	0	24
MVL_TP1_C244	61.48	61.48	1	1	0	58
MVL_TP1_C245	45.09	45.09	1	1	0	14
MVL_TP1_C246	79.16	79.16	1	1	0	1117
MVL_TP1_C247	134.63	129.98	8	3	1200	4382252
MVL_TP1_C248	255.52	236.62	8	3	1200	5847368
MVL_TP1_C249	207.46	189.2	8	3	1200	3340628
MVL_TP1_C250	202.41	200.49	8	3	1200	4401492
MVL_TP1_C251	145.64	97.02	8	3	1200	8083501
MVL_TP1_C252	260.14	258.2	8	3	1200	13350672

NOME	Km	Objes	Model	Solve	Resou	Itera
MVL_TP1_C253	70.07	70.07	1	1	1	9878
MVL_TP1_C254	57.14	51.29	8	3	1200	5873876
MVL_TP2_C255	144.54	144.54	1	1	0	2450
MVL_TP2_C256	362.94	362.94	1	1	51	633830
MVL_TP2_C257	129.21	129.21	1	1	0	90
MVL_TP1_C258	55.49	53.1	8	3	1200	10041998
MVL_TP1_C259	80.07	80.07	1	1	111	1590076
MVL_TP1_C260	71.13	71.13	1	1	0	531
MVL_TP1_C261	70.71	70.71	1	1	0	274
MVL_TP1_C262	227.01	227.01	1	1	0	14
MVL_TP1_C263	190.68	190.68	1	1	0	14
MVL_TP1_C264	63.32	63.32	1	1	0	0
MVL_TP1_C265	48.27	48.27	1	1	0	13
MVL_TP1_C266	187.18	187.18	1	1	408	8028412
MVL_TP1_C267	107.88	107.88	1	1	3	20401
MVL_TP1_C268	346.21	324	8	3	1200	10913021
MVL_TP1_C269	63.35	63.35	1	1	566	7244941
MVL_TP1_C270	350.22	288.11	8	3	1200	3398915
MVL_TP1_C271	147.61	147.02	8	3	1200	9571097
MVL_TP1_C272	239.36	239.36	1	1	12	444281
MVL_TP1_C273	237.88	237.88	1	1	41	935798
MVL_TP1_C274	195.31	187.19	8	3	1200	9734370
MVL_TP1_C275	141.42	141.42	1	1	26	1267565
MVL_TP1_C276	96.93	96.93	1	1	210	2079905
MVL_TP1_C277	91.16	91.16	1	1	329	3136126
MVL_TP1_C278	196.8	196.8	1	1	1	2469
MVL_TP1_C279	67.38	67.38	1	1	56	549103
MVL_TP1_C280	222.68	222.68	1	1	1	16137
MVL_TP1_C281	104.39	93.49	8	3	1200	3903555
MVL_TP1_C282	59.3	59.3	1	1	0	0
MVL_TP2_C283	432.97	432.97	1	1	718	7018164
MVL_TP1_C284	102.32	96.29	8	3	1200	9072988
MVL_TP1_C285	79.16	79.16	1	1	160	1192369
MVL_TP1_C286	63.08	63.08	1	1	31	1000568
MVL_TP1_C287	51.91	51.91	1	1	448	3531795
MVL_TP1_C288	58.92	58.92	1	1	0	20
MVL_TP1_C289	57.04	57.04	1	1	0	53
MVL_TP1_C290	43.96	43.96	1	1	0	13
MVL_TP1_C291	186.12	186.12	1	1	0	31
MVL_TP1_C292	52.27	52.27	1	1	0	18
MVL_TP1_C293	77.27	77.27	1	1	22	281467
MVL_TP1_C294	218.99	208.44	8	3	1200	8856860
MVL_TP1_C295	370.61	276.01	8	3	1200	3861923
MVL_TP1_C296	75.11	75.11	1	1	312	3241961
MVL_TP1_C297	315.64	315.64	1	1	40	639113
MVL_TP1_C298	127.58	127.58	1	1	0	384
MVL_TP1_C299	242.47	234.27	8	3	1200	6411631
MVL_TP1_C300	211.79	211.79	1	1	2	34619
MVL_TP1_C301	116.6	116.6	1	1	4	10874
MVL_TP1_C302	148.27	148.27	1	1	20	302008
MVL_TP1_C303	212.83	206.53	8	3	1200	9000395
MVL_TP1_C304	106.06	100.08	8	3	1200	4379039
MVL_TP1_C305	56.55	56.55	1	1	0	533
MVL_TP1_C306	198.32	198.32	1	1	0	5382
MVL_TP1_C307	62.41	62.41	1	1	3	8501
MVL_TP1_C308	129.57	100.04	8	3	1200	5265514
MVL_TP1_C309	234.69	234.69	1	1	0	368
MVL_TP1_C310	92.87	79.6	8	3	1200	5196555
MVL_TP1_C311	52.43	52.43	1	1	0	31
MVL_TP2_C312	222.5	222.5	1	1	1	40848
MVL_TP2_C313	315.28	260.45	8	3	1200	5538942
MVL_TP1_C314	227.79	227.79	1	1	0	603
MVL_TP1_C315	243.8	243.8	1	1	0	1622
MVL_TP1_C316	258.96	223.48	8	3	1200	7357074
MVL_TP1_C317	78.11	78.11	1	1	2	93843
MVL_TP1_C318	207.74	178.48	8	3	1200	3351571
MVL_TP1_C319	76.62	74.37	8	3	1200	19957504
MVL_TP1_C320	144.89	144.89	1	1	62	622593
MVL_TP1_C321	146.01	135.56	8	3	1200	6020748
MVL_TP1_C322	214.08	204.45	8	3	1200	3924311
MVL_TP1_C323	139.38	139.38	1	1	0	100
MVL_TP1_C324	205.47	205.15	8	3	1200	10199844

NOME	Km	Objes	Model	Solve	Resou	Itera
MVL_TP1_C325	102.52	102.52	1	1	2	45638
MVL_TP1_C326	65.94	65.94	1	1	2	41055
MVL_TP1_C327	59.05	58.9	8	3	1200	4008980
MVL_TP1_C328	93.02	69.65	8	3	1200	3792384
MVL_TP1_C329	71.55	71.55	1	1	0	43
MVL_TP1_C330	98	98	1	1	0	31
MVL_TP1_C331	192.15	192.15	1	1	0	133
MVL_TP1_C332	126.91	126.91	1	1	0	20
MVL_TP1_C333	47.1	47.1	1	1	0	0
MVL_TP1_C334	60.86	60.86	1	1	0	15
MVL_TP1_C335	43.47	43.47	1	1	0	0
MVL_TP1_C336	60.63	57.26	8	3	1200	7896132
MVL_TP1_C337	72.22	72.22	1	1	0	225
MVL_TP1_C338	87.98	77.93	8	3	1200	7356868
MVL_TP1_C339	67.26	67.26	1	1	21	451400
MVL_TP2_C340	173.44	173.44	1	1	0	0
MVL_TP2_C341	320.29	320.29	1	1	0	4647
MVL_TP1_C342	94.6	94.6	1	1	6	78090
MVL_TP1_C343	375.05	296.94	8	3	1200	21890576
MVL_TP1_C344	61.65	61.65	1	1	190	2284087
MVL_TP1_C345	236.81	236.81	1	1	9	196604
MVL_TP1_C346	198.89	198.89	1	1	131	1222061
MVL_TP1_C347	120	111.99	8	3	1200	8613010
MVL_TP1_C348	144.42	126.13	8	3	1200	3755208
MVL_TP1_C349	75.88	72.99	8	3	1200	11563470
MVL_TP1_C350	46.44	46.44	1	1	0	14
MVL_TP1_C351	77.72	69.48	8	3	1200	5292366
MVL_TP2_C352	157.74	157.74	1	1	0	63
MVL_TP1_C353	115.57	107.64	8	3	1200	7035803
MVL_TP1_C354	77.86	76.46	8	3	1200	4870826
MVL_TP1_C355	78.03	78.03	1	1	52	756905
MVL_TP1_C356	45.63	45.63	1	1	0	20
MVL_TP1_C357	188.53	188.53	1	1	0	15
MVL_TP1_C358	71.9	71.9	1	1	0	218
MVL_TP1_C359	186.13	186.13	1	1	273	2755147
MVL_TP1_C360	274.3	274.3	1	1	16	797058
MVL_TP1_C361	56.83	56.83	1	1	0	468
MVL_TP1_C362	158.77	134.86	8	3	1200	5767740
MVL_TP1_C363	231.47	231.47	1	1	1	41107
MVL_TP1_C364	220.44	220.44	1	1	70	820204
MVL_TP1_C365	121.28	121.28	1	1	115	1818846
MVL_TP1_C366	79.42	79.42	1	1	49	1480381
MVL_TP1_C367	55.83	55.83	1	1	99	1167751
MVL_TP1_C368	270.37	270.37	1	1	5	39732
MVL_TP1_C369	116.91	106.61	8	3	1200	8557776
MVL_TP2_C370	242.63	242.63	1	1	0	232
MVL_TP2_C371	311.04	311.04	1	1	1	9204
MVL_TP1_C372	70.48	70.48	1	1	113	1857165
MVL_TP1_C373	78.59	74.3	8	3	1200	6916534
MVL_TP1_C374	102.92	102.92	1	1	384	4165096
MVL_TP1_C375	44.17	44.17	1	1	0	14
MVL_TP1_C376	105.91	105.91	1	1	0	0
MVL_TP1_C377	65.61	65.61	1	1	0	12
MVL_TP1_C378	45.91	45.91	1	1	0	13
MVL_TP1_C379	187.74	187.74	1	1	0	42
MVL_TP1_C380	198.64	198.64	1	1	0	14
MVL_TP1_C381	83.51	83.51	1	1	0	14
MVL_TP1_C382	46.35	46.35	1	1	0	0
MVL_TP1_C383	48.55	48.55	1	1	0	36
MVL_TP1_C384	202.92	202.92	1	1	15	362669
MVL_TP1_C385	92.66	92.37	8	3	1200	12355228
MVL_TP1_C386	73.81	73.81	1	1	836	9491576
MVL_TP1_C387	129.88	129.88	1	1	0	6192
MVL_TP1_C388	142.28	140.02	8	3	1200	6243606
MVL_TP1_C389	239.93	239.93	1	1	16	311213
MVL_TP1_C390	164.59	157.26	8	3	1200	7091517
MVL_TP1_C391	213.19	205.03	8	3	1200	5948422
MVL_TP1_C392	137.87	137.87	1	1	0	131
MVL_TP1_C393	213.64	201.28	8	3	1200	5971199
MVL_TP1_C394	97.74	97.74	1	1	12	367275
MVL_TP1_C395	98.54	98.54	1	1	5	16710
MVL_TP1_C396	152.48	91.56	8	3	1200	6493612

NOME	Km	Objes	Model	Solve	Resou	Itera
MVL_TP1_C397	76.32	73.32	8	3	1200	9750793
MVL_TP1_C398	68.02	68.02	1	1	611	7013796
MVL_TP1_C399	286.47	256.45	8	3	1200	5197159
MVL_TP1_C400	85.81	83.57	8	3	1200	5875033
MVL_TP2_C401	278.34	278.34	1	1	22	470092
MVL_TP2_C402	307.85	307.85	1	1	4	57514
MVL_TP1_C403	55.62	52.96	8	3	1200	6730349
MVL_TP1_C404	67.56	67.56	1	1	11	80468
MVL_TP1_C405	105.2	105.2	1	1	387	4278419
MVL_TP1_C406	36.08	36.08	1	1	0	0
MVL_TP1_C407	45.75	45.75	1	1	0	14
MVL_TP1_C408	55.35	55.35	1	1	0	12
MVL_TP1_C409	62.9	62.9	1	1	0	14
MVL_TP1_C410	99.23	99.23	1	1	0	29
MVL_TP1_C411	98.33	98.33	1	1	0	14
MVL_TP1_C412	201.5	201.5	1	1	0	15
MVL_TP1_C413	192.25	192.25	1	1	0	15
MVL_TP1_C414	52.1	52.1	1	1	0	11
MVL_TP1_C415	61.5	61.5	1	1	0	0
MVL_TP1_C416	212.93	164.25	8	3	1200	7464290
MVL_TP1_C417	338.7	290.82	8	3	1200	4271340
MVL_TP1_C418	60.51	60.51	1	1	6	47158
MVL_TP1_C419	239.85	239.85	1	1	248	2933524
MVL_TP1_C420	200.81	197.82	8	3	1200	6480029
MVL_TP1_C421	123.64	123.64	1	1	689	6414634
MVL_TP1_C422	149.13	149.13	1	1	0	510
MVL_TP1_C423	205.62	205.62	1	1	0	2046
MVL_TP1_C424	106.01	104.3	8	3	1200	9618769
MVL_TP1_C425	91.65	88.96	8	3	1200	9420891
MVL_TP1_C426	56.47	56.47	1	1	3	37822
MVL_TP1_C427	260.73	260.73	1	1	0	172
MVL_TP1_C428	90.3	90.3	1	1	192	1564836
MVL_TP2_C429	189.37	189.37	1	1	0	42
MVL_TP2_C430	328.52	328.52	1	1	2	33474
MVL_TP1_C431	70.79	70.79	1	1	9	209620
MVL_TP1_C432	85.59	77.21	8	3	1200	9328108
MVL_TP1_C433	62	62	1	1	200	1975671
MVL_TP1_C434	59.25	59.25	1	1	2	5883
MVL_TP1_C435	390.94	303.03	8	3	1200	5260916
MVL_TP1_C436	323.57	292.11	8	3	1200	4733754
MVL_TP1_C437	61.12	61.12	1	1	0	27
MVL_TP1_C438	47.85	47.85	1	1	0	12
MVL_TP1_C439	45.38	45.38	1	1	0	0
MVL_TP1_C440	61.4	61.4	1	1	0	0
MVL_TP1_C441	200.72	200.72	1	1	58	712115
MVL_TP1_C442	145.36	132.23	8	3	1200	5947405
MVL_TP1_C443	92.9	92.9	1	1	63	547328
MVL_TP1_C444	233.16	232.33	8	3	1200	10076707
MVL_TP1_C445	130.23	130.23	1	1	173	2491100
MVL_TP1_C446	242.85	242.85	1	1	18	418610
MVL_TP1_C447	198.21	197.26	8	3	1200	8654042
MVL_TP1_C448	100.56	100.56	1	1	0	430
MVL_TP1_C449	139.57	138.91	8	3	1200	14217214
MVL_TP1_C450	102.93	95.31	8	3	1200	7782555
MVL_TP1_C451	106.61	94.02	8	3	1200	7340053
MVL_TP1_C452	78.16	74.27	8	3	1200	4244824
MVL_TP1_C453	194.21	164.03	8	3	1200	5652124
MVL_TP1_C454	75.88	65.27	8	3	1200	4548346
MVL_TP1_C455	116.49	114.15	8	3	1200	15322534
MVL_TP1_C456	117.65	109.21	8	3	1200	6342315
MVL_TP2_C457	114.71	114.71	1	1	0	42
MVL_TP2_C458	190.69	190.69	1	1	0	364
MVL_TP2_C459	300.88	287.21	8	3	1200	10021845
MVL_TP1_C460	233.15	233.15	1	1	0	668
MVL_TP1_C461	276.25	276.25	1	1	0	1087
MVL_TP1_C462	41.71	41.71	1	1	0	15
MVL_TP1_C463	63.03	63.03	1	1	0	18
MVL_TP1_C464	228.37	228.37	1	1	0	33
MVL_TP1_C465	89.36	89.36	1	1	0	29
MVL_TP1_C466	189.7	189.7	1	1	0	27
MVL_TP1_C467	225.29	206.09	8	3	1200	8626340
MVL_TP1_C468	54.03	54.03	1	1	0	79

NOME	Km	Objes	Model	Solve	Resou	Itera
MVL_TP1_C469	110.85	110.85	1	1	68	845026
MVL_TP1_C470	373.43	325.34	8	3	1200	6390119
MVL_TP1_C471	80.72	80.72	1	1	24	324041
MVL_TP1_C472	149.9	149.9	1	1	13	77393
MVL_TP1_C473	164.37	164.37	1	1	2	53281
MVL_TP1_C474	241.85	235.59	8	3	1200	7178815
MVL_TP1_C475	206.64	184.87	8	3	1200	7286892
MVL_TP1_C476	107.68	107.68	1	1	0	139
MVL_TP1_C477	140.14	140.14	1	1	0	915
MVL_TP1_C478	210.46	210.46	1	1	29	729372
MVL_TP1_C479	107.27	106.94	8	3	1200	7440553
MVL_TP1_C480	137.85	130.26	8	3	1200	6689477
MVL_TP1_C481	61.01	61.01	1	1	2	8299
MVL_TP1_C482	75.91	75.91	1	1	0	346
MVL_TP1_C483	83.48	83.48	1	1	184	2289868
MVL_TP1_C484	63.82	63.82	1	1	61	745014
MVL_TP1_C485	63.37	62.56	8	3	1200	8901116
MVL_TP1_C486	71.7	69.36	8	3	1200	9805164
MVL_TP1_C487	114.53	100.88	8	3	1200	3878338
MVL_TP1_C488	133.17	133.17	1	1	0	14
MVL_TP1_C489	129.39	129.39	1	1	0	89
MVL_TP1_C490	60.76	60.76	1	1	0	0
MVL_TP2_C491	202.31	202.31	1	1	0	262
MVL_TP1_C492	199.15	199.15	1	1	326	4216727
MVL_TP1_C493	338.38	259.54	8	3	1200	9942261
MVL_TP1_C494	81.86	81.86	1	1	16	158045
MVL_TP1_C495	196.91	185.6	8	3	1200	52863694
MVL_TP1_C496	236.89	236.89	1	1	28	733313
MVL_TP1_C497	195.48	195.48	1	1	687	7581465
MVL_TP1_C498	114.55	105.07	8	3	1200	3755569
MVL_TP1_C499	212.68	212.68	1	1	25	466404
MVL_TP1_C500	100.02	98.63	8	3	1200	8704790
MVL_TP1_C501	68.53	62.53	8	3	1200	6831870
MVL_TP1_C502	86.25	77.18	8	3	1200	10207623
MVL_TP1_C503	157.22	138.45	8	3	1200	7273637
MVL_TP1_C504	65.29	65.29	1	1	14	304712
MVL_TP1_C505	64.55	63.87	8	3	1200	7939696
MVL_TP1_C506	74.43	70.48	8	3	1200	5215304
MVL_TP1_C507	263.34	227.52	8	3	1200	6067006

Para os próximos cenários serão mostrados apenas os resultados dos primeiros dez modelos gerados. Caso necessite de todos os dados, contate do autor deste trabalho².

Cenário M1

Tabela 60 – Saída Resumida para o Cenário M1 gerado pelo modelo TSP

NOME	Km	Objes	Model	Solve	Resou	Itera
M1_TP1_C1	209.45	209.45	1	1	0	30
M1_TP1_C2	140.53	137.64	8	3	999	6494122
M1_TP1_C3	47.5	37.24	8	3	1000	3827029
M1_TP1_C4	90.64	90.64	1	1	282	4575573
M1_TP1_C5	51.95	51.95	1	1	141	1145150
M1_TP1_C6	122.65	107.78	8	3	1000	3036645
M1_TP1_C7	83.45	83.45	1	1	0	2472
M1_TP1_C8	139.24	138.28	8	3	1000	12514712
M1_TP1_C9	80.23	80.23	1	1	1	8316
M1_TP1_C10	235.68	235.68	1	1	2	87465

Cenário M2

Tabela 61 – Saída Resumida para o Cenário M2 gerado pelo modelo TSP

NOME	Km	Objes	Model	Solve	Resou	Itera
M2_TP1_C2	65.39	65.39	1	1	591	9773686
M2_TP1_C5	98.64	91.64	8	3	1200	5127798
M2_TP1_C6	72.03	65.62	8	3	1200	6469315
M2_TP1_C12	58.53	58.53	1	1	0	179
M2_TP1_C15	59.34	54.32	8	3	1200	7658170
M2_TP1_C16	69.24	69.24	1	1	38	732310
M2_TP1_C17	140.76	111.64	8	3	1200	5711362
M2_TP1_C22	193.47	67.72	8	3	1200	8712384
M2_TP1_C23	76.36	76.36	1	1	0	4040
M2_TP1_C24	111.99	61.81	8	3	1200	8133282

Cenário M3

Tabela 62 – Saída Resumida para o Cenário M3 gerado pelo modelo TSP

NOME	Km	Objes	Model	Solve	Resou	Itera
M3_TP1_C2	72.35	69.33	8	3	1200	8514279
M3_TP1_C5	82.78	79.91	8	3	1200	4938702
M3_TP1_C12	69.48	69.48	1	1	0	161
M3_TP1_C15	38.04	35.59	8	3	1200	9762663
M3_TP1_C17	124.14	90.9	8	3	1200	5363409
M3_TP1_C24	86.27	41.32	8	3	1200	7098489
M3_TP1_C27	72.59	72.59	1	1	319	2749220
M3_TP1_C28	73.57	73.57	1	1	17	99612
M3_TP1_C29	65.43	65.43	1	1	4	108964
M3_TP1_C44	112.33	80.81	8	3	1200	3749219

² Email do autor: fabiobres@gmail.com

Cenário M4

Tabela 63 – Saída Resumida para o Cenário M4 gerado pelo modelo TSP

NOME	Km	Objes	Model	Solve	Resou	Itera	
M4_TP4_C1	182.93	182.93	1	1	0		82
M4_TP1_C2	45.13	45.13	1	1	2		22702
M4_TP4_C3	45.58	45.58	1	1	0		4103
M4_TP4_C4	36.76	33.85	8	3	1200		10467009
M4_TP3_C5	43.7	43.7	1	1	412		3531086
M4_TP2_C6	45.87	31.7	8	3	1200		3899467
M4_TP3_C7	87.02	87.02	1	1	8		155510
M4_TP4_C8	113.33	107.15	8	3	1200		16130526
M4_TP4_C9	38.74	38.74	1	1	1		6351
M4_TP4_C10	238.89	238.89	1	1	0		163

APÊNDICE H – VIAGENS ATENDIDAS POR TP

Tabela 64 – Viagens Atendidas por TP

TP	Cluster/ Viagem	Data	Peso	Km	TP	Cluster/ Viagem	Data	Peso	Km
1	2	01/04/2010	737	65	1	89	08/04/2010	1.464	63
1	5	01/04/2010	323	99	1	91	08/04/2010	1.847	144
1	6	01/04/2010	459	72	1	97	08/04/2010	1.194	90
1	12	03/04/2010	926	59	1	99	08/04/2010	945	86
1	15	03/04/2010	324	59	1	100	08/04/2010	1.588	97
1	16	03/04/2010	2.724	69	1	101	08/04/2010	753	68
1	17	03/04/2010	900	141	1	110	09/04/2010	984	98
1	22	05/04/2010	1.042	193	1	112	09/04/2010	1.364	64
1	23	05/04/2010	1.248	76	1	119	10/04/2010	1.081	119
1	24	05/04/2010	1.210	112	1	121	10/04/2010	995	128
1	27	05/04/2010	905	77	1	122	10/04/2010	678	69
1	28	05/04/2010	1.090	89	1	124	10/04/2010	724	74
1	30	05/04/2010	1.528	55	1	125	10/04/2010	1.679	92
1	37	05/04/2010	1.011	56	1	130	10/04/2010	1.677	51
1	38	05/04/2010	1.491	50	1	137	12/04/2010	740	107
1	44	05/04/2010	1.649	134	1	140	12/04/2010	1.239	132
1	48	06/04/2010	1.209	68	1	141	12/04/2010	1.454	84
1	51	06/04/2010	931	116	1	143	12/04/2010	1.586	58
1	52	06/04/2010	1.821	68	1	144	12/04/2010	1.013	116
1	54	06/04/2010	994	83	1	145	12/04/2010	1.695	65
1	58	06/04/2010	1.489	163	1	151	12/04/2010	1.799	95
1	61	06/04/2010	1.479	52	1	157	13/04/2010	2.023	95
1	64	07/04/2010	763	59	1	158	13/04/2010	673	221
1	65	07/04/2010	2.008	81	1	160	13/04/2010	840	77
1	66	07/04/2010	1.277	189	1	162	13/04/2010	1.141	65
1	71	07/04/2010	1.069	116	1	163	13/04/2010	1.849	73
1	73	07/04/2010	809	63	1	165	13/04/2010	1.282	128
1	75	07/04/2010	1.551	124	1	166	13/04/2010	1.181	61
1	76	07/04/2010	1.816	165	1	170	13/04/2010	1.173	176
1	86	08/04/2010	1.354	77	1	174	13/04/2010	1.025	55
1	87	08/04/2010	992	198	1	183	14/04/2010	2.510	82
1	88	08/04/2010	1.985	177	1	187	14/04/2010	2.039	71

TP	Cluster/ Viagem	Data	Peso	Km	TP	Cluster/ Viagem	Data	Peso	Km
1	188	14/04/2010	2.105	110	1	323	22/04/2010	2.063	71
1	190	14/04/2010	1.185	143	1	324	22/04/2010	1.090	58
1	192	14/04/2010	983	70	1	331	22/04/2010	2.102	75
1	194	14/04/2010	938	57	1	332	22/04/2010	1.339	79
1	196	14/04/2010	2.185	71	1	343	23/04/2010	639	197
1	197	14/04/2010	1.171	55	1	345	23/04/2010	858	61
1	200	14/04/2010	1.901	133	1	346	23/04/2010	383	63
1	202	14/04/2010	1.765	90	1	348	23/04/2010	1.091	90
1	210	15/04/2010	1.728	64	1	357	24/04/2010	1.267	51
1	214	15/04/2010	1.097	83	1	359	24/04/2010	906	57
1	215	15/04/2010	1.405	193	1	360	24/04/2010	985	106
1	217	15/04/2010	1.180	107	1	362	24/04/2010	842	110
1	218	15/04/2010	1.922	68	1	363	24/04/2010	2.283	56
1	219	15/04/2010	1.526	168	1	364	24/04/2010	1.141	81
1	220	15/04/2010	864	77	1	368	24/04/2010	1.863	138
1	221	15/04/2010	1.464	66	1	379	26/04/2010	2.622	52
1	222	15/04/2010	1.218	69	1	380	26/04/2010	2.391	75
1	226	15/04/2010	1.335	147	1	384	26/04/2010	1.516	48
1	228	16/04/2010	1.022	70	1	388	26/04/2010	1.089	85
1	231	16/04/2010	1.047	80	1	389	26/04/2010	1.530	67
1	248	17/04/2010	802	99	1	391	26/04/2010	1.302	71
1	249	17/04/2010	2.414	117	1	392	26/04/2010	1.940	69
1	250	17/04/2010	1.079	64	1	393	26/04/2010	1.013	82
1	251	17/04/2010	864	118	1	399	26/04/2010	1.309	149
1	252	17/04/2010	1.357	101	1	412	27/04/2010	1.636	57
1	262	19/04/2010	2.902	54	1	413	27/04/2010	2.478	52
1	263	19/04/2010	1.335	51	1	416	27/04/2010	965	105
1	266	19/04/2010	1.232	53	1	417	27/04/2010	1.058	157
1	268	19/04/2010	1.282	187	1	419	27/04/2010	1.836	64
1	270	19/04/2010	1.206	192	1	420	27/04/2010	1.097	64
1	271	19/04/2010	1.738	90	1	422	27/04/2010	913	89
1	272	19/04/2010	1.539	64	1	423	27/04/2010	1.786	51
1	273	19/04/2010	1.530	132	1	427	27/04/2010	1.675	133
1	274	19/04/2010	1.219	60	1	435	28/04/2010	2.050	215
1	275	19/04/2010	1.868	101	1	436	28/04/2010	1.878	173
1	278	19/04/2010	1.550	138	1	441	28/04/2010	1.745	52
1	280	19/04/2010	1.568	89	1	444	28/04/2010	1.489	92
1	291	20/04/2010	1.378	49	1	446	28/04/2010	953	68
1	294	20/04/2010	1.340	69	1	447	28/04/2010	1.280	59
1	295	20/04/2010	1.847	197	1	449	28/04/2010	2.148	74
1	297	20/04/2010	1.094	166	1	453	28/04/2010	1.994	134
1	299	20/04/2010	1.616	68	1	460	29/04/2010	2.405	126
1	300	20/04/2010	2.071	68	1	461	29/04/2010	1.107	139
1	302	20/04/2010	909	77	1	464	29/04/2010	2.970	54
1	303	20/04/2010	1.391	71	1	466	29/04/2010	1.618	52
1	306	20/04/2010	1.411	128	1	467	29/04/2010	1.118	111
1	309	20/04/2010	808	127	1	470	29/04/2010	871	199
1	314	22/04/2010	1.058	56	1	472	29/04/2010	1.268	95
1	315	22/04/2010	2.549	70	1	473	29/04/2010	1.029	113
1	316	22/04/2010	1.787	125	1	474	29/04/2010	1.946	69
1	318	22/04/2010	1.696	98	1	475	29/04/2010	560	80
1	320	22/04/2010	1.011	89	1	477	29/04/2010	1.290	72
1	322	22/04/2010	1.401	87	1	478	29/04/2010	3.102	74

TP	Cluster/ Viagem	Data	Peso	Km	TP	Cluster/ Viagem	Data	Peso	Km
1	488	29/04/2010	2.555	62	2	70	07/04/2010	2.665	20
1	492	30/04/2010	1.010	50	2	72	07/04/2010	1.254	79
1	493	30/04/2010	710	164	2	74	07/04/2010	1.460	81
1	495	30/04/2010	1.359	80	2	77	07/04/2010	1.588	79
1	496	30/04/2010	821	61	2	78	07/04/2010	1.689	73
1	497	30/04/2010	774	59	2	79	07/04/2010	801	56
1	499	30/04/2010	558	80	2	80	07/04/2010	927	99
1	503	30/04/2010	858	108	2	81	08/04/2010	618	179
1	507	30/04/2010	1.171	131	2	82	08/04/2010	5.999	373
2	1	01/04/2010	1.795	187	2	83	08/04/2010	790	40
2	3	01/04/2010	401	37	2	84	08/04/2010	459	41
2	4	01/04/2010	1.232	42	2	85	08/04/2010	867	50
2	7	01/04/2010	856	69	2	90	08/04/2010	2.232	51
2	8	01/04/2010	1.402	114	2	92	08/04/2010	681	73
2	9	01/04/2010	648	39	2	93	08/04/2010	3.191	13
2	10	03/04/2010	5.999	238	2	94	08/04/2010	1.994	26
2	11	03/04/2010	2.830	36	2	95	08/04/2010	1.687	40
2	13	03/04/2010	2.811	46	2	96	08/04/2010	1.415	47
2	14	03/04/2010	1.632	56	2	98	08/04/2010	1.298	104
2	18	03/04/2010	1.220	118	2	102	08/04/2010	1.262	70
2	19	03/04/2010	1.255	34	2	103	08/04/2010	1.013	109
2	20	03/04/2010	1.107	89	2	104	08/04/2010	1.479	47
2	21	05/04/2010	5.999	393	2	105	08/04/2010	2.149	71
2	25	05/04/2010	1.013	59	2	106	09/04/2010	5.999	210
2	26	05/04/2010	1.583	41	2	107	09/04/2010	938	72
2	29	05/04/2010	1.311	88	2	108	09/04/2010	651	59
2	31	05/04/2010	2.556	95	2	109	09/04/2010	369	39
2	32	05/04/2010	1.925	62	2	111	09/04/2010	1.498	50
2	33	05/04/2010	1.430	109	2	113	09/04/2010	1.401	92
2	34	05/04/2010	1.369	48	2	114	09/04/2010	672	64
2	35	05/04/2010	2.174	87	2	115	09/04/2010	748	60
2	36	05/04/2010	3.163	28	2	116	09/04/2010	1.285	72
2	39	05/04/2010	2.711	19	2	117	10/04/2010	1.209	70
2	40	05/04/2010	1.379	70	2	118	10/04/2010	5.999	273
2	41	05/04/2010	719	29	2	120	10/04/2010	894	54
2	42	05/04/2010	388	23	2	123	10/04/2010	2.599	98
2	43	05/04/2010	481	46	2	126	10/04/2010	1.813	44
2	45	06/04/2010	5.999	285	2	127	10/04/2010	1.197	37
2	46	06/04/2010	1.192	37	2	128	10/04/2010	4.457	20
2	47	06/04/2010	527	49	2	129	10/04/2010	1.507	22
2	49	06/04/2010	1.384	38	2	131	10/04/2010	1.118	55
2	50	06/04/2010	1.025	91	2	132	10/04/2010	1.342	102
2	53	06/04/2010	2.280	68	2	133	12/04/2010	5.999	389
2	55	06/04/2010	2.449	68	2	134	12/04/2010	579	31
2	56	06/04/2010	1.291	54	2	135	12/04/2010	806	34
2	57	06/04/2010	1.004	37	2	136	12/04/2010	2.327	64
2	59	06/04/2010	2.044	79	2	138	12/04/2010	1.505	46
2	60	06/04/2010	2.384	22	2	139	12/04/2010	2.068	54
2	62	06/04/2010	2.006	18	2	142	12/04/2010	1.935	105
2	63	07/04/2010	5.999	354	2	146	12/04/2010	1.791	169
2	67	07/04/2010	1.239	67	2	147	12/04/2010	1.745	65
2	68	07/04/2010	660	42	2	148	12/04/2010	1.982	148
2	69	07/04/2010	2.550	26	2	149	12/04/2010	1.057	45

TP	Cluster/ Viagem	Data	Peso	Km	TP	Cluster/ Viagem	Data	Peso	Km
2	150	12/04/2010	3.485	13	2	235	16/04/2010	799	77
2	152	12/04/2010	2.208	87	2	236	17/04/2010	5.999	309
2	153	13/04/2010	5.999	293	2	237	17/04/2010	3.185	103
2	154	13/04/2010	4.655	99	2	238	17/04/2010	847	44
2	155	13/04/2010	991	70	2	239	17/04/2010	1.310	50
2	156	13/04/2010	864	61	2	240	17/04/2010	696	81
2	159	13/04/2010	1.683	41	2	241	17/04/2010	985	90
2	161	13/04/2010	1.114	84	2	242	17/04/2010	1.524	21
2	164	13/04/2010	1.182	62	2	243	17/04/2010	2.609	54
2	167	13/04/2010	1.372	67	2	244	17/04/2010	1.765	34
2	168	13/04/2010	1.213	55	2	245	17/04/2010	2.765	13
2	169	13/04/2010	1.323	36	2	246	17/04/2010	1.161	64
2	171	13/04/2010	1.135	98	2	247	17/04/2010	1.079	88
2	172	13/04/2010	1.735	102	2	253	17/04/2010	1.855	39
2	173	13/04/2010	1.996	20	2	254	17/04/2010	1.212	38
2	175	13/04/2010	1.745	20	2	255	19/04/2010	4.616	158
2	176	13/04/2010	2.556	26	2	256	19/04/2010	5.999	360
2	177	14/04/2010	5.999	252	2	257	19/04/2010	5.999	129
2	178	14/04/2010	467	46	2	258	19/04/2010	1.689	35
2	179	14/04/2010	1.269	40	2	259	19/04/2010	1.198	52
2	180	14/04/2010	429	51	2	260	19/04/2010	1.024	50
2	181	14/04/2010	3.307	54	2	261	19/04/2010	1.695	63
2	182	14/04/2010	2.926	35	2	264	19/04/2010	1.575	24
2	184	14/04/2010	4.580	47	2	265	19/04/2010	1.716	34
2	185	14/04/2010	3.223	34	2	267	19/04/2010	1.550	67
2	186	14/04/2010	2.847	12	2	269	19/04/2010	1.328	54
2	189	14/04/2010	850	75	2	276	19/04/2010	2.220	70
2	191	14/04/2010	1.701	85	2	277	19/04/2010	990	63
2	193	14/04/2010	2.399	108	2	279	19/04/2010	1.066	42
2	195	14/04/2010	1.124	78	2	281	19/04/2010	1.812	88
2	198	14/04/2010	2.829	58	2	282	19/04/2010	2.051	54
2	199	14/04/2010	1.391	79	2	283	20/04/2010	5.999	444
2	201	14/04/2010	881	52	2	284	20/04/2010	782	77
2	203	14/04/2010	1.036	97	2	285	20/04/2010	751	50
2	204	15/04/2010	5.999	390	2	286	20/04/2010	980	48
2	205	15/04/2010	3.947	99	2	287	20/04/2010	1.247	26
2	206	15/04/2010	770	38	2	288	20/04/2010	1.705	50
2	207	15/04/2010	1.120	54	2	289	20/04/2010	1.884	38
2	208	15/04/2010	1.421	102	2	290	20/04/2010	2.574	12
2	209	15/04/2010	3.269	53	2	292	20/04/2010	2.304	22
2	211	15/04/2010	1.903	78	2	293	20/04/2010	1.285	48
2	212	15/04/2010	2.238	20	2	296	20/04/2010	1.786	54
2	213	15/04/2010	1.089	12	2	298	20/04/2010	1.380	82
2	216	15/04/2010	1.348	49	2	301	20/04/2010	1.475	71
2	223	15/04/2010	1.540	93	2	304	20/04/2010	1.962	68
2	224	15/04/2010	1.370	113	2	305	20/04/2010	551	20
2	225	15/04/2010	1.142	48	2	307	20/04/2010	1.240	38
2	227	15/04/2010	1.122	71	2	308	20/04/2010	2.331	88
2	229	16/04/2010	1.720	32	2	310	20/04/2010	977	82
2	230	16/04/2010	943	49	2	311	20/04/2010	2.953	37
2	232	16/04/2010	884	68	2	312	22/04/2010	5.999	223
2	233	16/04/2010	731	65	2	313	22/04/2010	5.999	307
2	234	16/04/2010	1.175	56	2	317	22/04/2010	2.017	70

TP	Cluster/ Viagem	Data	Peso	Km	TP	Cluster/ Viagem	Data	Peso	Km
2	319	22/04/2010	1.999	55	2	397	26/04/2010	1.357	48
2	321	22/04/2010	2.359	107	2	398	26/04/2010	1.732	26
2	325	22/04/2010	1.346	61	2	400	26/04/2010	1.033	75
2	326	22/04/2010	2.801	43	2	401	27/04/2010	5.999	279
2	327	22/04/2010	1.180	37	2	402	27/04/2010	5.999	328
2	328	22/04/2010	1.602	75	2	403	27/04/2010	1.305	39
2	329	22/04/2010	3.054	66	2	404	27/04/2010	2.071	45
2	330	22/04/2010	1.123	56	2	405	27/04/2010	1.210	76
2	333	22/04/2010	2.293	24	2	406	27/04/2010	5.634	29
2	334	22/04/2010	2.970	31	2	407	27/04/2010	5.999	21
2	335	22/04/2010	2.601	15	2	408	27/04/2010	5.999	28
2	336	22/04/2010	873	50	2	409	27/04/2010	2.181	35
2	337	22/04/2010	2.323	49	2	410	27/04/2010	1.770	58
2	338	22/04/2010	801	73	2	411	27/04/2010	2.384	53
2	339	22/04/2010	1.607	38	2	414	27/04/2010	1.813	20
2	340	23/04/2010	469	181	2	415	27/04/2010	3.117	28
2	341	23/04/2010	5.999	313	2	418	27/04/2010	1.680	42
2	342	23/04/2010	1.374	49	2	421	27/04/2010	2.334	78
2	344	23/04/2010	845	47	2	424	27/04/2010	1.704	68
2	347	23/04/2010	1.982	75	2	425	27/04/2010	1.275	58
2	349	23/04/2010	1.185	57	2	426	27/04/2010	452	35
2	350	23/04/2010	2.172	23	2	428	27/04/2010	1.288	78
2	351	23/04/2010	587	50	2	429	28/04/2010	5.999	189
2	352	24/04/2010	4.547	159	2	430	28/04/2010	5.999	336
2	353	24/04/2010	2.945	105	2	431	28/04/2010	3.437	41
2	354	24/04/2010	1.342	45	2	432	28/04/2010	762	57
2	355	24/04/2010	1.002	59	2	433	28/04/2010	1.462	32
2	356	24/04/2010	4.686	24	2	434	28/04/2010	1.487	46
2	358	24/04/2010	1.952	38	2	437	28/04/2010	2.792	54
2	361	24/04/2010	2.061	35	2	438	28/04/2010	1.493	22
2	365	24/04/2010	1.889	75	2	439	28/04/2010	4.836	19
2	366	24/04/2010	2.336	47	2	440	28/04/2010	2.561	30
2	367	24/04/2010	1.282	34	2	442	28/04/2010	2.872	107
2	369	24/04/2010	1.705	106	2	443	28/04/2010	752	75
2	370	26/04/2010	3.560	243	2	445	28/04/2010	1.182	84
2	371	26/04/2010	5.999	313	2	448	28/04/2010	1.368	55
2	372	26/04/2010	1.025	57	2	450	28/04/2010	1.648	59
2	373	26/04/2010	1.105	49	2	451	28/04/2010	3.129	81
2	374	26/04/2010	482	77	2	452	28/04/2010	2.702	54
2	375	26/04/2010	3.407	12	2	454	28/04/2010	865	55
2	376	26/04/2010	2.839	102	2	455	28/04/2010	715	70
2	377	26/04/2010	3.216	59	2	456	28/04/2010	688	100
2	378	26/04/2010	2.521	28	2	457	29/04/2010	2.702	114
2	381	26/04/2010	1.948	38	2	458	29/04/2010	5.230	191
2	382	26/04/2010	1.865	23	2	459	29/04/2010	5.999	301
2	383	26/04/2010	256	49	2	462	29/04/2010	3.426	22
2	385	26/04/2010	2.353	46	2	463	29/04/2010	2.579	58
2	386	26/04/2010	2.093	59	2	465	29/04/2010	1.983	46
2	387	26/04/2010	1.796	84	2	468	29/04/2010	2.744	25
2	390	26/04/2010	1.926	125	2	469	29/04/2010	1.256	66
2	394	26/04/2010	1.634	67	2	471	29/04/2010	872	56
2	395	26/04/2010	2.161	73	2	476	29/04/2010	1.594	62
2	396	26/04/2010	2.009	114	2	479	29/04/2010	1.216	66

TP	Cluster/ Viagem	Data	Peso	Km
2	480	29/04/2010	1.470	114
2	481	29/04/2010	1.231	39
2	482	29/04/2010	2.137	58
2	483	29/04/2010	1.233	72
2	484	29/04/2010	3.694	31
2	485	29/04/2010	1.197	31
2	486	29/04/2010	506	51
2	487	29/04/2010	897	103
2	489	29/04/2010	2.622	84
2	490	29/04/2010	2.379	33
2	491	30/04/2010	1.246	231

TP	Cluster/ Viagem	Data	Peso	Km
2	494	30/04/2010	743	63
2	498	30/04/2010	571	68
2	500	30/04/2010	1.188	69
2	501	30/04/2010	431	43
2	502	30/04/2010	1.375	72
2	504	30/04/2010	564	51
2	505	30/04/2010	1.234	43
2	506	30/04/2010	1.705	57

ANEXO A – SISTEMA DE GEOLOCALIZAÇÃO

```
' Sistema de coordenadas API Web Service Google Maps (r)
' Desenvolvido: CELSO MITSUO HINO
' SADL - CELOG - FCAV - USP
'
```

Option Private Module

Sub Geocoding()

```
Dim terminar As Boolean
Dim linha_processo, coluna As Integer
Dim posic As Integer
Dim valor_URI, texto, resposta As String
Dim http As Object
```

Worksheets("Geocoding").Activate

'inicializa variaveis

terminar = False

linha_processo = 7

' inicia loop para processo

While terminar = False

If Cells(linha_processo, 2).Value = "sim" Then

' monta a URI

valor_URI = "http://maps.google.com/maps/geo?q="

For coluna = 3 To 6

If Cells(linha_processo, coluna).Value <> "" Then

texto = Cells(linha_processo, coluna).Value

texto = Replace(texto, ",", "")

texto = "+" & Replace(texto, " ", "+")

If coluna <> 3 Then texto = "," + texto

valor_URI = valor_URI + texto

End If

Next coluna

valor_URI = valor_URI + "&output=csv"

Cells(linha_processo, 7).Value = "=HYPERLINK(\"" & valor_URI & "\")"

'Realiza consulta http

Set http = CreateObject("WinHttp.WinHttpRequest.5.1")

http.Open "GET", valor_URI

http.send

resposta = http.responseText

' Verifica o Status Code

texto = Left(resposta, 3)

Cells(linha_processo, 8).Value = texto

If Val(texto) = 200 Then

' Captura a precisao

Cells(linha_processo, 9).Value = Mid(resposta, 5, 1)

' Captura a latitude e longitude

posic = InStr(7, resposta, ",")

```
Cells(linha_processo, 10).Value = Mid(resposta, 7, posic - 7)
Cells(linha_processo, 11).Value = Right(resposta, Len(resposta) - posic)
' coloca link para google maps
Cells(linha_processo, 12).Value =
"=HYPERLINK("""http://maps.google.com/maps?f=q&hl=en&geocode=&q=" & _
Right(resposta, Len(resposta) - 6) & """)"
End If
End If
linha_processo = linha_processo + 1
If Cells(linha_processo, 1).Value = "" Then terminar = True
Wend

End Sub
```