Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
PTR – Departamento de Engenharia de Transportes

Trabalho de Formatura - 2013

Agrupamento de clientes para aumento da eficiência dos roteiros de entrega de uma empresa de bebidas

Orientador:

Prof. Dr. Cláudio Barbieri da Cunha

Alunos:

Alexandre Caldeira Augusti	N.USP: 6913322
Bassam Abdo Majdoub	N.USP: 6852075
Larissa Emy Hayashi	N.USP: 4000178
Rafael Honório Bassani	N.USP: 5944670
Rodrigo Rosa Rahal	N.USP: 6887182

São Paulo, Dezembro de 2013

FICHA CATALOGRÁFICA

Augusti, Alexandre Caldeira
Agrupamento de clientes para aumento da eficiência dos roteiros de entrega de uma empresa de bebidas / A.C. Augusti, B.A. Majdoub, L.E. Hayashi, R.H. Bassani, R.R. Rahal. -- São Paulo, 2013.
122 p.

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

1.Cluters 2.Pesquisa operacional 3.Logística 4.Roteirização I.Majdoub, Bassam Abdo II.Hayashi, Larissa Emy III.Bassani, Rafael Honório IV.Rahal, Rodrigo Rosa V.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Transporte VI.t.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS 6

LISTA DE GRÁFICOS E TABELAS 7

1 INTRODUÇÃO 1
1.1 Motivação 1
1.2 Objetivo 2
1.3 Organização do Trabalho 2

2 A AMBEV E SUA ESTRUTURA LOGÍSTICA 4

3* PROCESSO DE ENTREGAS – *Second-Tier 9
3.1* Etapa 1 – *Planner 10
3.2 Etapa 2– Visita do Vendedor 11
3.3 Etapa 3 – Crítica dos Pedidos 12
3.4 Etapa 4 – Roteirização das Entregas 12
3.5 Etapa 5 – Montagem da Carga 13
3.6 Etapa 6 – Execução das Rotas 16
3.7 Etapa 7 – Fechamento do Processo de Entrega 16

4 ANÁLISE DO *PLANNER* 18
4.1 Análise da segmentação dos Vendedores 18
4.2 Definição do problema 24
4.3 Análise de Dados da Operação 26
4.4 Conclusão da Análise de Dados 37

5 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA E ARTIGOS RELACIONADOS 39
5.1 Análise de Agrupamentos (*clustering*) e Estudos Relacionados 39
5.2 Análise de Roteirização e Estudos Relacionados 43

6 METODOLOGIA PROPOSTA 46
6.1 Métodos Propostos 46
6.1.1 Método das Regiões Contínuas 46
6.1.2 Método das Regiões Descontínuas 47
6.2 Tratamento de Dados 50
6.2.1 Coordenadas UTM dos PDVs 52
6.2.2 Volume Entregue 52
6.2.3 Tempo de Descarga 52

7 RESULTADOS E COMPARAÇÕES 53
7.1 Resultados Comparativos entre os Métodos e os Meses Representativos 53
7.2* Resultado do Planejamento Proposto – *PLANNER 59

8 MELHORIAS PROPOSTAS 62
8.1 Criação de uma Malha Viária para o Cálculo de Distâncias Reais 62
8.2 Aperfeiçoamento da Velocidade Utilizada para cada PDV 62
8.3 Refinamento da Solução através de Algoritmos Metaheurísticos – Busca Local 63

8.4 Restrição de Quantidade de Pontos por Caminhão 64
8.5 Restrição de Entregas em dias Seguidos 64
9 CONSIDERAÇÕES FINAIS 65
10 BIBLIOGRAFIA 66
ANEXO A – K-*Means* 68
ANEXO B – Vizinho Mais Próximo 71
ANEXO C – Resultados *PLANNER* 73

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1: Países de atuação - Ambev 4
Figura 2.2: Fábricas na América Latina 5
Figura 2.3: Centros de Distribuição na América Latina 6
Figura 2.4: Cadeia Logística: First-Tier e Second-Tier (PDVs – Pontos de Vendas) 6
Figura 2.5: PDVs atendidos pelo CDD Guarulhos 7
Figura 3.1: Etapas do Processo de Entregas 9
Figura 3.2: Manual de Classificação dos Estabelecimentos 10
Figura 3.3: Exemplo de Paletes no Estoque (2 Paletes) 14
Figura 3.4: Exemplo de Montagem de Um Palete Misto 14
Figura 3.5: Primeira Vistoria de Carga e Montagem Inicial dos Caminhões 15
Figura 3.6: Segunda Vistoria de Carga (5% dos Caminhões) 15
Figura 4.1: Exemplo de Segmentação - Situação Inicial 19
Figura 4.2: Exemplo de Segmentação - Divisão PDVs Pequenos 20
Figura 4.3: Exemplo de Segmentação - Divisão de Supermercados 21
Figura 4.4: Adegas - Visitadas Segundas e Terças 22
Figura 4.5: Padarias - Visitadas Segundas e Terças 23
Figura 4.6: Adegas e Padarias - Visitadas Segundas e Terças 23
Figura 4.7: PDVs Atendidos pelo CDD Guarulhos - Grandes Distâncias e Altas Frequências 24
Figura 4.8: Sugestão de atendimento não categorizado 25
Figura 4.9: Sugestão de atendimento em regiões descontínuas 25
Figura 6.1: Pseudocódigo 50
Figura 7.1: Operação – Abril 2013 – Semana 1 57
Figura 7.2: “Caminhão” – Abril 2013 – Semana 1 57
Figura 7.3: “Arrastão” – Abril 2013 – Semana 1 58
Figura 7.4: “Caminhão” – Abril 2013 – Semana 1 – Dia 1 58
Figura 7.5: “Arrastão” – Abril 2013 – Semana 1 – Dia 1 59
Figura 7.6: Zona de restrição – Veículos de carga - Guarulhos 60
Figura 8.1: Busca Local 63
Figura 8.2: Situação em que Pode ser Aplicada a Busca Local 64

LISTA DE GRÁFICOS E TABELAS

Gráfico 4.1: Volume Entregue por Mês - 2011 27
Gráfico 4.2: Volume Entregue por Mês - 2012 27
Gráfico 4.3: Volume Médio Entregue no Meses por Dia da Semana 28
Gráfico 4.4: Frequência de Visitas 29
Gráfico 4.5: Divergência entre Planejado e Executado 29
Gráfico 4.6: Ocupação Média por Caminhão – Dezembro 2012 30
Gráfico 4.7: Ocupação Média por Caminhão – Abril 2013 31
Gráfico 4.8: Tempo de Rota Médio – Dezembro 2012 32
Gráfico 4.9: Tempo de Rota Médio – Abril 2013 32
Gráfico 4.10: Quantidade de Caminhões por Semana no Mês de Abril 2013..... 33
Gráfico 4.11: Quantidade de Caminhões Utilizados por Semana no Mês de Dezembro 2012 34
Gráfico 4.12: Quantidade Média de PDVs Atendidos por Caminhão por Dia por Semana – Dezmbro 2012 35
Gráfico 4.13: Quantidade Média de PDVs Atendidos por Caminhão por Dia por Semana – Abril 2013..... 35
Gráfico 4.14: Distância Média Percorrida por Caminhão por Dia para Cada Semana – Dezembro 2012 36
Gráfico 4.15: Distância Média Percorrida por Caminhão por Dia para Cada Semana – Abril 2013..... 37

Tabela 2.1: Classificação dos Pontos de Venda CDD Guarulhos 8
Tabela 7.1 – Comparação dos Resultados para o Mês de Abril – Semanas 1 e 2 54
Tabela 7.2 - Comparação dos Resultados para o Mês de Abril – Semanas 3 e 4..... 55
Tabela 7.3 - Comparação dos Resultados para o Mês de Dezembro – Semanas 1 e 2 .. 55
Tabela 7.4 - Comparação dos Resultados para o Mês de Dezembro – Semanas 3 e 4 .. 55
Tabela 7.5: Resultados *PLANNER* - Dezembro 60
Tabela 7.6: Resultados *PLANNER* – Restante do ano..... 60
Tabela 8.1 – Comparação semana 1 - velocidades 62

1 INTRODUÇÃO

Este trabalho aborda um problema enfrentado por uma empresa que produz, vende e distribui bebidas: o impacto da programação de vendas na eficiência da distribuição. Tal eficiência depende, além da qualidade da roteirização, de um planejamento, ligado à programação das vendas, anterior a esse processo. É prática comum no setor de bebidas que as entregas sejam feitas no dia seguinte à venda; portanto, a programação das vendas pode ter grande impacto na distribuição dos produtos vendidos. Uma programação que não considera a dispersão dos pontos atendidos pode gerar rotas longas que necessitem de muitos caminhões; já uma programação dos vendedores considerando o planejamento de distribuição pode levar a rotas mais curtas e que necessitem de menos caminhões.

Mais especificamente, neste trabalho, estuda-se a programação dos vendedores da Ambev para a região de Guarulhos e o seu impacto na distribuição dos produtos.

Ainda no trabalho, propõem-se dois métodos para a programação dos vendedores que podem levar a um processo de entregas mais eficiente. Entende-se, por programar os vendedores, designar, para cada ponto de venda, o dia da semana em que o vendedor deverá visitá-lo, ou seja, agrupar os pontos de venda em dias das semana. Portanto, os métodos propostos estão baseados em métodos que visam a criação de grupos de vendas compactos, do inglês, clusterização.

1.1 Motivação

A Ambev é a maior produtora de bebidas da América Latina e uma das maiores do mundo, com aproximadamente 40 mil funcionários e operações em 14 países. Em 2012, a companhia produziu cerca de 170 milhões de hectolitros[1], que foram distribuídos para cerca de um milhão de pontos de venda[2]. Devido à elevada quantidade de pontos a serem atendidos, os custos logísticos da distribuição são significativos.

A racionalização de um processo anterior à roteirização que permita a geração de rotas mais curtas e que necessite de menos caminhões pode trazer uma redução nos custos logísticos. Considerando a magnitude das operações logísticas da Ambev, essa redução de custos pode trazer ganhos financeiros à empresa.

[1] Hectolitro: unidade de volume equivalente a cem litros
[2] Todos os dados sobre a companhia foram retirados dos relatórios anuais fornecidos pela Ambev.

Além de ser um estudo relevante para a Ambev, o projeto também proporciona aos alunos a possibilidade de aplicar conceitos teóricos em uma empresa de grande porte, fazendo o elo entre a teoria e a prática.

A programação dos vendedores, do modo como é feita hoje pela Ambev, vem estabelecendo visitas a pontos de vendas (PDVs) distantes entre si em um mesmo dia. Uma consequência da atual programação é a necessidade de um elevado número de caminhões para atender essas entregas.

Para que sejam gerados roteiros mais curtos e racionais, os pontos de venda podem ser agrupados em regiões compactas, minimizando a distância entre pontos de um mesmo *cluster*[3] e a partir daí pode ser feita a programação dos vendedores.

1.2 Objetivo

O objetivo deste estudo é definir uma metodologia que permita determinar o agrupamento dos pontos de venda em regiões compactas a partir da qual possa ser feita a programação de visita dos vendedores, e sua distribuição em cada dia da semana para que haja harmonização entre a programação dos vendedores e as entregas.

Para alcançar os objetivos propostos, o escopo do trabalho compreende o entendimento do problema descrito acima, a compreensão dos dados fornecidos pela empresa, uma pesquisa da literatura sobre problemas semelhantes aos da Ambev no tocante a agrupamento e roteirização e, posteriormente, a proposição de um método de agrupamento que defina a programação dos vendedores.

1.3 Organização do Trabalho

No Capítulo 2 é apresentado todo o histórico da Ambev. Além disso, será detalhada a Estrutura Logística atual da empresa contemplando todos os setores.

O Capítulo 3 apresenta o Processo de Entregas com uma explicação de diversas etapas que envolvem desde o armazenamento dos produtos no centro de distribuição até a prestação de contas diária feita por cada motorista.

Já o Capítulo 4 contempla um diagnóstico da atual situação dos processos logísticos que envolvem o *Planner*, feito a partir dos dados fornecidos pela companhia com os cenários atuais do processo logístico da "Rota".

[3] *cluster:* agregado, grupo*;*

O Capítulo 5 apresenta a revisão bibliográfica com a literatura levantada durante o estudo.

O Capítulo 6 explica os métodos propostos para programação de vendedores baseados em métodos de agrupamento.

O Capítulo 7 apresenta os resultados obtidos por cada um dos métodos propostos e a comparação com o que é realizado atualmente.

O Capítulo 8 aponta possíveis melhorias capazes de serem implementadas nos métodos propostos.

E finalmente no Capítulo 9 realizam-se as considerações finais.

2 A AMBEV E SUA ESTRUTURA LOGÍSTICA

A Ambev (Companhia de Bebidas das Américas) é uma empresa de capital aberto com sede em São Paulo, Brasil, que nasceu da fusão das duas maiores cervejarias locais em 1999: a Antarctica e a Brahma. Em 2004 a companhia fundiu-se com a Interbrew (Belga) criando o grupo Inbev. Em 2008, o conglomerado fundiu-se com a Anheuser-Busch (Americana) formando o grupo AB-Inbev[4].

Individualmente, a Ambev é a quarta maior cervejaria do mundo e líder no mercado latino-americano, produzindo e comercializando cervejas, refrigerantes e bebidas não carbonatadas. A empresa mantém operações em 14 países das Américas, como mostrado na Figura 2.1, tendo como a maior operação realizada pela Cerveja Brasil, com aproximadamente 70% do mercado latino-americano. Em 2012 e apenas no Brasil, a Ambev vendeu cerca de 117 milhões de hectolitros de bebidas gerando uma a receita líquida de 21 bilhões de reais.

Figura 2.1: Países de atuação - Ambev

Fonte: Ambev

A cadeia logística da Ambev é composta por quatro etapas: aquisição de insumos, produção, armazenagem e distribuição dos produtos. A aquisição dos insumos acontece junto aos fornecedores que estão distribuídos por todo o país, tendo, por

[4] Todos os dados sobre a companhia foram retirados dos relatórios anuais fornecidos pela Ambev.

exemplo, a cevada adquirida por cerca de 4.000 produtores. A água, ingrediente básico de todos os produtos, é negociada diretamente pela Gerência do Meio Ambiente com as prefeituras das regiões onde as fábricas estão localizadas, facilitando a aquisição da água e a sua exploração. Todos os demais insumos são transportados pelos diversos modais ao alcance da empresa, como o rodoviário, ferroviário, marítimo e o fluvial.

Figura 2.2: Fábricas na América Latina

Fonte: Ambev

Ao chegar às fábricas, todos os insumos são depositados em armazéns, que funcionam 24 horas por dia, proporcionando a produção necessária para suprir a demanda. Esse primeiro transporte, dos insumos até as fábricas e posteriormente até os centros de distribuição ou diretamente aos distribuidores de grande porte, é denominado pela Ambev de "*First-Tier*". Após a fabricação, os produtos são transportados das suas 47 fábricas na América Latina para serem armazenados em um dos seus 96 Centros de Distribuição Direta (CDDs ou simplesmente CDs). Por fim, cada CDD pode receber seus produtos de diferentes fábricas. A distribuição de fábricas pode ser observada na Figura 2.2 e a distribuição de CDDs pode ser observada na Figura 2.3.

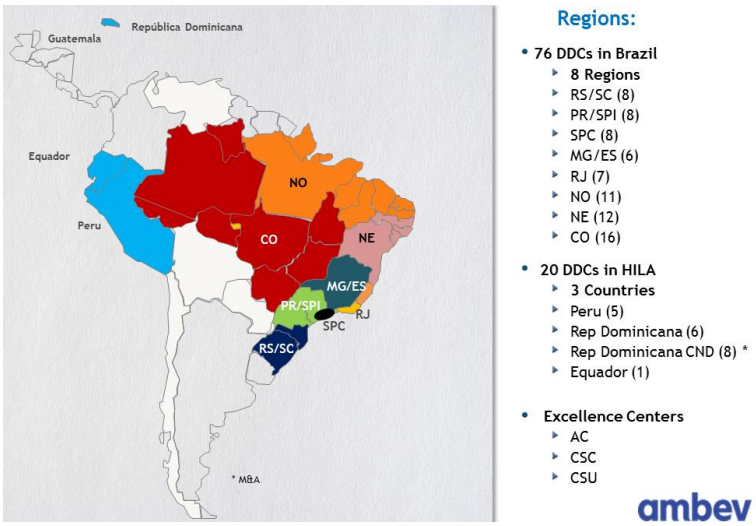

Figura 2.3: Centros de Distribuição na América Latina

Fonte: Ambev

Terminada a armazenagem, inicia-se a última etapa da cadeia logística, a distribuição dos produtos aos pontos de venda. Esta etapa, incluindo a distribuição direta das fábricas para os grandes clientes (*Key Accounts*), é realizada por cerca de 3 mil caminhões de pequeno a grande porte, em, aproximadamente, um milhão de pontos de venda (entre bares, restaurantes, revendedores de pequeno a grande porte e supermercados), fechando um ciclo denominado pela empresa de "*Second-Tier*". A Figura 2.4 resume a cadeia logística descrita:

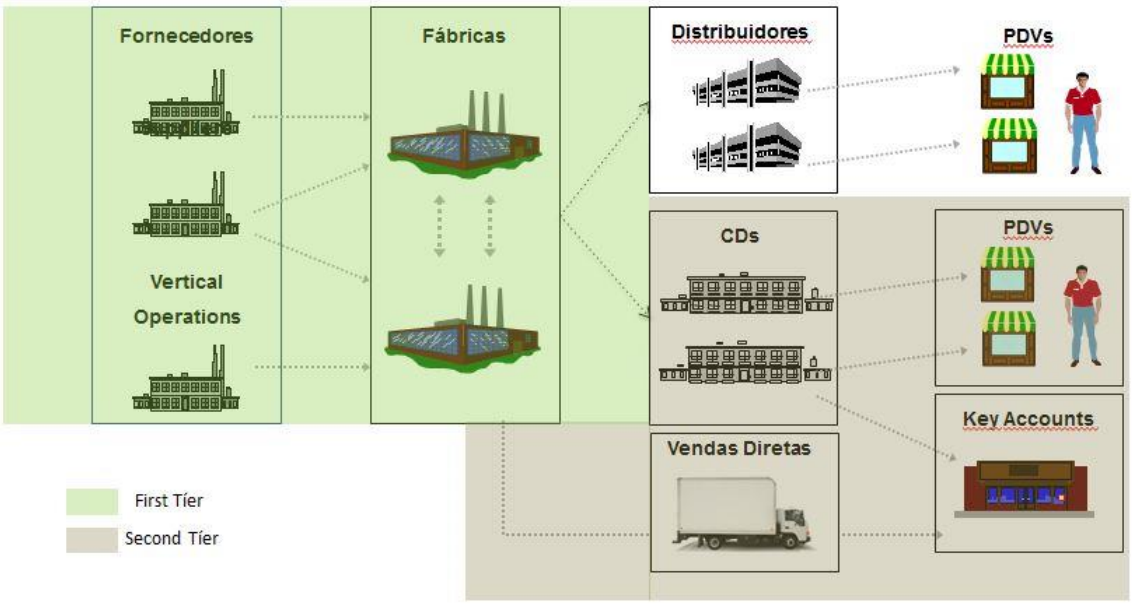

Figura 2.4: Cadeia Logística: First-Tier e Second-Tier (PDVs – Pontos de Vendas)

Fonte: Ambev

Cada CDD é designado para um dado grupo de pontos de vendas e clientes denominados *Key Accounts* (clientes importantes pela expressividade dos seus respectivos volumes de vendas). Cada ponto de venda, por sua vez, é alocado a um determinado CDD segundo um critério de proximidade geográfica.

Para o atendimento da cidade de São Paulo, a empresa possui 5 CDDs: Mooca, Diadema, Norte SP, Oeste e Capão Redondo. Além destes, para atender a Região Metropolitana de São Paulo, contam também com o centro de distribuição de Guarulhos.

Dentre todos os CDDs da Região Metropolitana de São Paulo é foco do presente estudo o CDD de Guarulhos. Esse centro foi escolhido juntamente com equipe de logística da Ambev devido à facilidade com que são possíveis de serem obtidos dados sobre o processo de entregas, e também em razão da menor, mas representativa, complexidade da região em relação aos demais Centros de Distribuição.

O CDD de Guarulhos atende a uma região que inclui os municípios de Guarulhos, Arujá e Itaquaquecetuba. Essa região é dividida em duas sub-regiões logísticas, conforme mostrado na Figura 2.5, e possui cerca de 9.673 Pontos de Venda (PDVs) cadastrados, dos quais, na época estudada eram atendidos 3.965 pontos sendo que o restante ou deixou de existir ou não é mais atendido pela companhia.

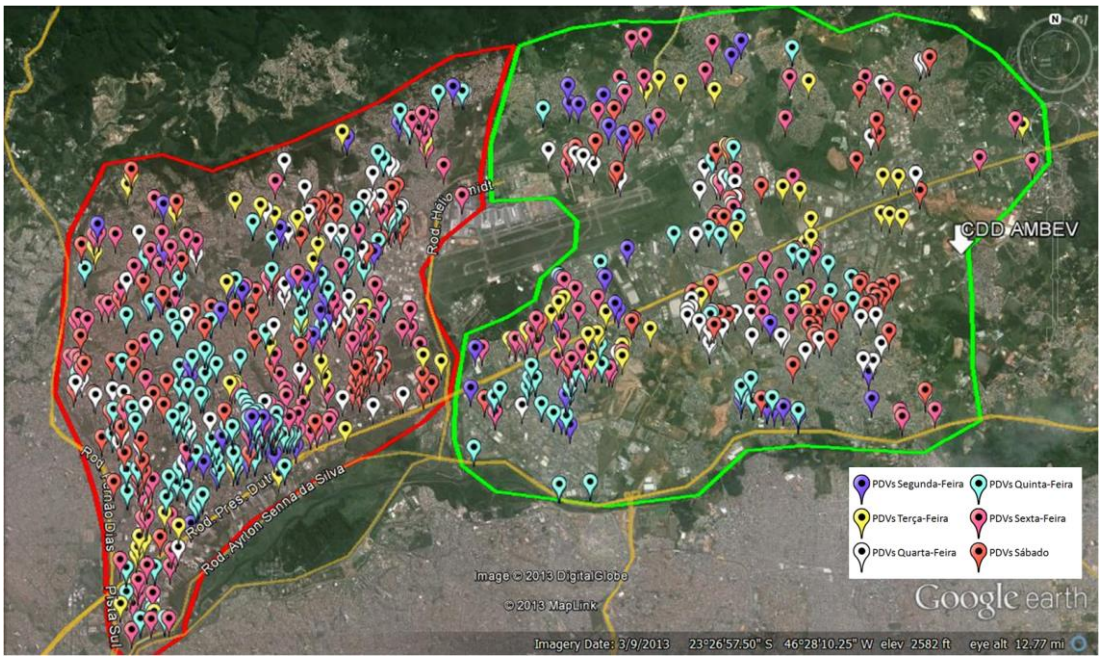

Figura 2.5: PDVs atendidos pelo CDD Guarulhos

Os diferentes tipos de pontos estão representados na Tabela 2.1. Nesses PDVs, segundo dados fornecidos pela Ambev, são distribuídos em média cerca de 46 mil hectolitros em meses de baixas vendas e 106 mil hectolitros nos meses de altas. Semanalmente são realizadas em torno de 5200 visitas, o que representam, em meses de baixa, por volta de 4 mil km rodados. Essa distância é percorrida por uma frota própria

de 42 veículos com capacidade de 6 a 10 paletes, além da possibilidade da contratação de uma frota terceirizada em casos de alta demanda.

Tabela 2.1: Classificação dos Pontos de Venda CDD Guarulhos

Classificação dos Pontos de Venda	Característica
Armazém/Mercearia	Balcão/Caixa – Não fabrica pães
Auto Serviço 1-4	Supermercados com até 4 *check-outs*
Auto Serviço 5-9	Supermercados com 5 a 9 *checkouts*
Auto Serviço 10-20	Supermercados com 10 a 20 *check-outs*
Auto Serviço > 20	Supermercados com mais de 20 *check-outs*
Atacadista	Parcela maior do volume é vendido para outros PDVs
Depósito de Bebidas	Adegas
Frio Especializado	PDV Vip
Frio Grande	Bares comuns
Frio Pequeno	"Botecos"
Loja de Conveniência	Posto de Gasolina
Padaria/Confeitaria	Balcão/Caixa – Fabrica pães

Obs: Check Out – Número de caixas de atendimento para cobrança.

3 PROCESSO DE ENTREGAS – *Second-Tier*

O processo de entregas do segmento *Second-Tier* é dividido em sete etapas como pode ser visto na Figura 3.1. Cada uma delas será tratada separadamente neste capítulo.

Todo o processo de entregas depende da etapa inicial chamada de *Planner*, que é realizada anualmente de forma independente em cada CDD, envolvendo os departamentos de Vendas e Logística. Esta etapa é importante devido à política de entregas da empresa que prevê a distribuição dos pedidos no dia seguinte ao dia da venda.

Em linhas gerais, no *Planner* é feita a programação dos vendedores, define-se, para cada ponto de venda, em quais dias da semana ele será atendido. Este planejamento envolve tanto as estratégias comerciais quanto logísticas e será descrito detalhadamente mais adiante.

Após a definição do *Planner*, durante o restante do ano serão realizadas as outras seis etapas que envolvem desde as vendas até a distribuição dos pedidos.

Cada uma delas é detalhada a seguir:

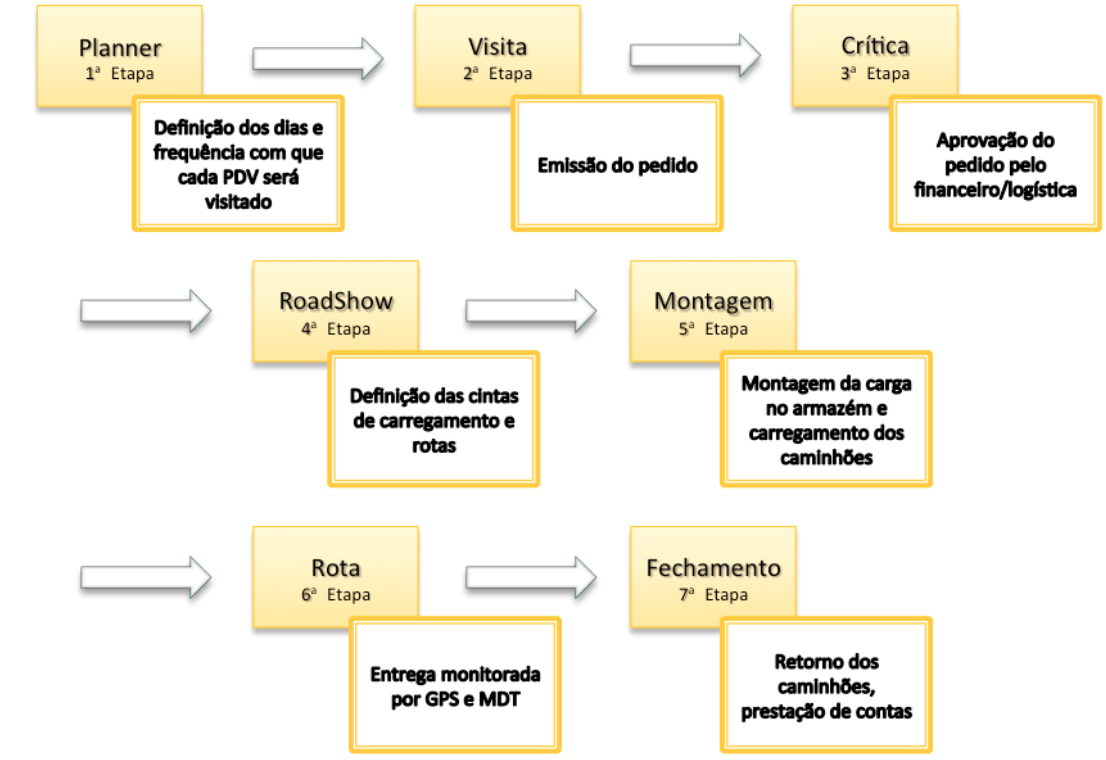

Figura 3.1: Etapas do Processo de Entregas

Fonte: Ambev

3.1 Etapa 1 – *Planner*

O processo do *Planner* acontece uma vez por ano e é realizado em uma reunião entre os departamentos comercial e logístico. Cada CDD possui um planejamento independente considerando todos os seus clientes que são compostos por PDVs. Todos os clientes são atendidos exclusivamente por um único CDD e estão contemplados dentro deste processo.

Os pontos de venda são segmentados em uma das 12 categorias apresentadas anteriormente na Tabela 2.1. A categoria Auto-Serviço (geralmente, mercados) é subdividida quanto ao número de posições de *check-out* (caixa de atendimento para cobrança). Alguns atributos como Bar *Premium* ou Restaurante Sofisticado ajudam a caracterizar a categoria Frio Especializado. Atributos como Faculdade ou Esporte ajudam a caracterizar as categorias Frio Grande e Frio Pequeno. O fluxograma completo de classificação é apresentado na Figura 3.2.

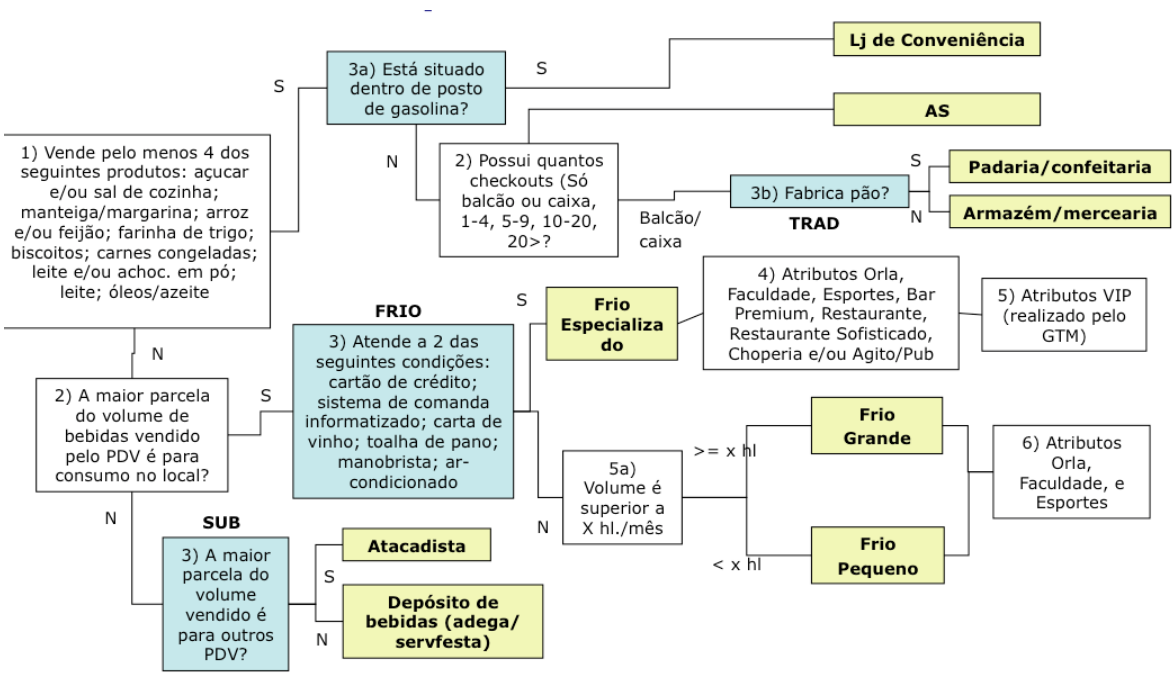

Figura 3.2: Manual de Classificação dos Estabelecimentos

Fonte: Ambev

Os vendedores são alocados por categoria de PDV, sendo que cada um atende exclusivamente uma categoria. A distribuição da quantidade de clientes por vendedor é feita de tal maneira que o faturamento dos vendedores seja semelhante.

Os critérios para a alocação dos vendedores é a seguinte:

1. Segmentam-se os PDVs pelas características de cada cliente;
2. Define-se o número máximo de PDVs que cada vendedor consegue visitar por dia e, consequentemente, a região geográfica em que cada vendedor irá atuar;
3. É balanceado o número de visitas por dia para cada vendedor para que não haja grandes variações;

Depois de categorizados os PDVs e divididos os vendedores, é definida, pela equipe comercial, a frequência com que cada PDV será visitado. Em seguida, fixam-se os dias da semana nos quais as visitas ocorrerão. Com isso, dada a política de entrega do dia seguinte, ficam estabelecidos todos os pedidos que deverão ser entregues em cada dia.

A definição das frequências semanais de visitas leva em consideração a base histórica de pedidos, as restrições dos PDVs, as da equipe comercial e logística. Atualmente, as decisões tomadas em conjunto entre as equipes comercial e logística está desbalanceada sendo a parcela comercial a mais relevante.

Por definir a programação dos vendedores e, por consequência a programação de entregas, o *Planner* é fundamental em todo processo. Por fim, o planejamento da visita dos vendedores realizado durante o *Planner* só é alterado caso algum indicador medido pela empresa esteja muito abaixo do padrão no período e, caso isto ocorra, pode-se convocar uma nova reunião para a redefinição em um novo *Planner* para este CDD.

3.2 Etapa 2– Visita do Vendedor

As vendas são realizadas após a visita de um vendedor ao PDV, a visita *in loco* se faz necessária para que haja a promoção de diferentes produtos.

Os vendedores, como já foi dito, são divididos em categorias de acordo com o tipo de PDV a ser atendido e são capacitados a vender todos os produtos da Ambev, ou seja, não são segmentados por produto.

Os deslocamentos entre PDVs são realizados de motocicleta e, apesar de serem definidas rotas, cada vendedor segue a sequência que lhe convém naquele dia dado seu conhecimento de horários de funcionamento de cada PDV.

A efetivação de um pedido de compra dá-se através da sua transmissão eletrônica e instantânea ao centro de distribuição. A empresa utiliza um dispositivo

móvel do tipo PDA (*Personal Digital Assistant*) que conecta os pedidos diretamente à central de processamento via Internet.

3.3 Etapa 3 – Crítica dos Pedidos

Após a emissão do pedido de compra, ele deve passar por uma aprovação do setor Financeiro, do setor de Vendas e por uma aprovação do setor de Logística. Somente após essas três aprovações o pedido entrará no sistema. Essa aprovação é feita para todos os pedidos separadamente após o expediente dos vendedores.

Durante essa etapa, o setor Logístico pode rejeitar um pedido caso ele esteja fora do dia designado no *Planner*. Não existe uma diretriz que defina quando um pedido fora do dia planejado deve ser rejeitado ou aceito.

3.4 Etapa 4 – Roteirização das Entregas

Uma vez autorizados pela crítica, os pedidos são enviados a um técnico responsável pela roteirização das entregas, auxiliado por um *software* especializado chamado *Roadshow*.

Nesse *software*, são carregados todos os detalhes dos pedidos aprovados para cada CDD e a frota disponível para esta região. A companhia possui dois tipos de veículos, os VUCs (Veículos Urbanos de Carga), para circulação nas regiões onde há restrição de caminhões maiores, com capacidade de até 6 paletes, e os caminhões de maior porte, com capacidade de até 10 paletes. Além destes, também possuem "carretas de puxado", utilizadas para a entrega direta em *Key Accounts* (estabelecimentos com alta demanda).

No *software*, a relação de pontos de venda está identificada em um mapa através das suas coordenadas cartesianas. Esses PDVs são segmentados em categorias por tipo e tamanho de estabelecimento como visto anteriormente.

Além disso, é criada uma malha simplificada do sistema viário interconectando os PDVs. Esta malha é necessária no cálculo das distâncias realmente percorridas.

O *Roadshow* combina a relação de pedidos, os caminhões disponíveis e a segmentação dos pontos de venda para a geração de uma rota que atinja a maior ocupação dos caminhões em um tempo mínimo de entrega.

Após a geração da rota pelo *software*, alguns ajustes manuais, feitos por um operador, são realizados para a inclusão de pontos não contemplados pelo *Roadshow*.

Estes pontos não seguem um padrão para todos os Centros de Distribuição, e são utilizados para que o operador possa ajustar todas as rotas objetivando a maior ocupação possível e para que seja respeitado o tempo máximo permitido por caminhão.

Os principais aspectos práticos que influem durante a etapa de roteirização são:

- Frota heterogênea: a Ambev possui uma frota fixa própria, no entanto, caso seja necessário essa frota pode ser aumentada com a contratação de terceiros. O operador deve decidir se é necessário o uso e a quantidade a ser contratada. Além disso, ele deve considerar a possibilidade de mais de um roteiro por veículo, quando veículo retorna cedo à base e é capaz de fazer mais um roteiro de entregas.

- Requisitos de pessoal: no dia 12 de junho de 2012 entrou em vigor a Lei Federal nº 12.619/12 que, entre outros assuntos, disciplina a jornada do motorista profissional. Os principais pontos que afetam a roteirização são: jornada diária de 8 horas e 44 horas semanais. Intervalo mínimo de uma hora para refeição. Receber as horas extraordinárias, com acréscimo de 50% sobre a hora normal. Portanto, a roteirização deve se preocupar com a duração máxima de cada roteiro.

- Requisitos de informações: devem ser considerados durante a roteirização a localização precisa dos pontos de venda, as zonas de entregas com restrições de tráfego e as barreiras físicas.

3.5 Etapa 5 – Montagem da Carga

Após a definição de todos os roteiros de entrega de um dado dia feitos, os pedidos agrupados em rotas são enviados à um outro *software* que tem por função não só emitir todas as notas fiscais como também definir o que deverá ser carregado em cada palete. Não há relação entre a montagem e a ordem de entrega, ou seja, poderá haver pedidos que serão entregues nos primeiros pontos que estarão com a carga no fundo do palete.

O programa junta cargas similares na mesma rota e forma paletes que possam ser maximizados dentro de um mesmo produto. Ou seja, caso um pedido possua meio palete de um determinado SKU (*Stock Keeping Units* – Unidade de Manutenção de Estoque, termo utilizado para designar diferentes itens do estoque) e o outro também possua meio palete deste mesmo produto, o sistema indica que este caminhão deverá ser carregado com um palete inteiro deste SKU.

Para a montagem, é reservada uma área no centro de distribuição onde diversos SKUs são alinhados para facilitar na separação.

Podemos ver nas Figuras 3.3 e 3.4 um palete montado de um determinado produto em estoque e também um palete misto, com produtos variados.

Figura 3.3: Exemplo de Paletes no Estoque (2 Paletes)
Fonte: Ambev

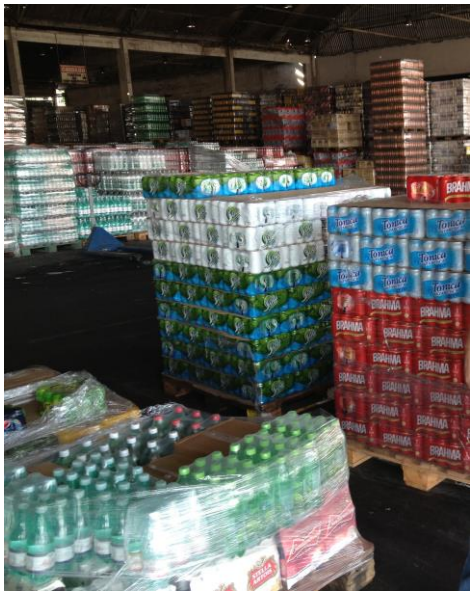

Figura 3.4: Exemplo de Montagem de Um Palete Misto
Fonte: Ambev

A montagem dos paletes ocorre em conjunto com a montagem dos caminhões durante o turno da noite até o início da manhã seguinte quando iniciam-se as rotas de entrega.

Para que se minimizem os erros de montagem, são feitas duas vistorias dentro do CDD. Inicialmente, a carga é conferida logo após ser montada, após isso, o caminhão é lacrado. Na saída dos caminhões, há um sorteio de cerca de 5% deles para uma nova conferência, nessa etapa, a carga é 100% desmontada, conferida e recolocada no caminhão. Essa última vistoria serve para apurar o percentual de erro que ocorre com os veículos.

Nas Figuras 3.5 e 3.6, pode-se observar as duas fases da vistoria. Na figura 3.5 apresenta-se a vistoria a qual todos os caminhões são submetidos. Na Figura 3.6, observa-se um caminhão sorteado para a segunda vistoria.

Figura 3.5: Primeira Vistoria de Carga e Montagem Inicial dos Caminhões
Fonte: Ambev

Figura 3.6: Segunda Vistoria de Carga (5% dos Caminhões)
Fonte: Ambev

3.6 Etapa 6 – Execução das Rotas

Uma vez encerrada a montagem no início da manhã, já com os caminhões prontos para a entrega, as equipes de motoristas chegam no CDD e realizam uma reunião matinal informativa onde passarão a conhecer a rota do dia.

Cada grupo de entregas sai do CDD de forma fracionada, em horários distintos, evitando gargalos operacionais.

Uma vez liberados, os motoristas saem para as entregas. Sendo que, como observado pela equipe da Ambev, as rotas estipuladas pelo Software não são as rotas efetivamente utilizadas, uma vez que os motoristas comumente alteram a sequência de pontos visitados para facilitar o manuseio da carga. Normalmente a carga com maior volume é entregue primeiro para liberar espaço dentro do caminhão, o que facilita o manuseio dos produtos durante as entregas.

Todas as rotas são monitoradas por GPS e em cada caminhão da frota fixa da companhia há um equipamento com um dispositivo chamado MDT. Este dispositivo possibilita que o motorista registre o momento que chegou em um cliente, o momento que saiu e qualquer problema com a entrega. Estes dados são utilizados na calibração do *software* de roteirização trazendo mais precisão do tempo gasto em cada deslocamento. Todos os entregadores deveriam utilizá-lo, entretanto, a Ambev admite que há discrepâncias na utilização entre diferentes CDDs, sendo que em alguns, o aparelho é largamente utilizado e em outros nem tanto.

Os dados GPS são monitorados em tempo real por uma central de monitoramento. Esta central deveria monitorar desvios das rotas propostas, atrasos ou outros possíveis problemas das entregas.

Todos os dados coletado pelos GPS e pelo dispositivos MDT são armazenados em um base de dados chamada *tracking*. Esses dados serão utilizados para a caracterização e quantificação das rotas.

3.7 Etapa 7 – Fechamento do Processo de Entrega

Ao término das entregas, os caminhões devem retornar ao CDD onde será prestada conta do que foi feito durante o dia.

Cada motorista deverá passar no banco interno do CDD onde deverá prestar conta do financeiro recebido nas entregas dar explicações sobre possíveis divergências financeiras. Enquanto isso, o ajudante deverá passar pela devolução de cascos

retornáveis (caixa plástica que armazena as garrafas de vidro) em uma área de estocagem no CDD. Neste momento também haverá a conferência entre o que foi entregue e o que foi recebido sempre com base nas notas fiscais que deveriam ter sido cumpridas.

Caso haja alguma devolução, os motoristas deverão prestar contas do que foi devolvido. Só depois de terminar todas essas etapas, o motorista e o seu ajudante são liberados do serviço.

Há ainda a possibilidade de um mesmo motorista realizar duas rotas no mesmo dia, caso isso aconteça, o motorista que retornar deverá ter seu caminhão novamente carregado e irá voltar à rua. Este processo envolve uma compensação financeira ao motorista.

4 ANÁLISE DO *PLANNER*

Conforme visto no capítulo anterior, o *PLANNER* é o planejamento em que é definida a programação dos vendedores. A sua análise compreende o entendimento dos impactos dessas programação nos roteiros de entrega. Tendo em vista que os PDVs recebem as entregas no dia seguinte a visita do vendedor.

Neste capítulo procura-se estudar os impactos causados por decisões comerciais que desconsideram a eficiência logística. A seguir mostra-se como a segmentação da categoria de vendedores impacta na distribuição. Em seguida, são quantificados os atuais parâmetros logísticos. Por fim, concluiu-se como o atual *PLANNER* impacta estes indicadores.

4.1 Análise da segmentação dos Vendedores

Segundo executivos da empresa, aparentemente o resultado do *PLANNER* tem levado a uma baixa aderência entre o processo de vendas e o processo de entregas; em outras palavras, uma boa divisão de trabalho dos vendedores leva a rotas de entregas aparentemente não muito eficientes. A seguir serão avaliadas as possíveis causas para tal situação.

Dada certa região, os vendedores são segmentados, como dito no item 3.1, primeiramente em macrorregiões para que seus deslocamentos não sejam excessivos. Estas macrorregiões são parcelas contínuas do território como poderá ser observado mais adiante. Em seguida, essas macrorregiões são subdivididas em sub-regiões menores, caracterizadas pelo par de dias de atendimento.

A fim de melhor ilustrar essa questão, foi elaborado um exemplo simplificado, de uma região hipotética, mostrada na Figura 4.1, na qual existem apenas duas categorias de pontos de vendas sendo eles os pontos pequenos e supermercados. Neste exemplo, todos os pontos são visitados duas vezes por semana.

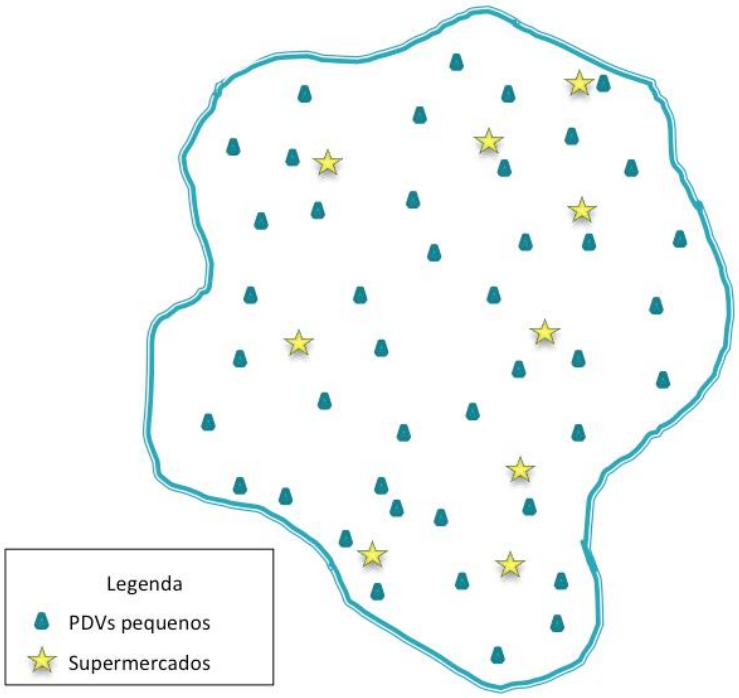

Figura 4.1: Exemplo de Segmentação - Situação Inicial

Primeiramente analisa-se a região composta apenas por PDVs Pequenos como pode ser visto na Figura 4.2.

A região hipotética é subdividida em 7 macrorregiões onde cada uma deverá ser atendida por um vendedor durante uma semana. Em seguida cada macrorregião é subdividida em três sub-regiões definidas pelos pares de dias da semana em que haverá visita do vendedor, nesse exemplo os pares são segundas e quartas (S), terças e sextas (T) e quintas e sábados (Q). Sendo assim, os pontos pertencentes a uma mesma sub-região receberão as visitas no mesmo par de dias e, por consequência, receberão as entregas também no mesmo par de dias. Isso, por si só, já representa um problema, pois podem existir sub-regiões distantes entre si que são visitadas no mesmo par de dias, como destacado na Figura 4.2.

Nota-se, ainda na Figura 4.2, que pontos da categoria PDVs Pequenos recebem visitas nos mesmos dias em diversas sub-regiões formando áreas descontínuas. Caso não houvesse mais nenhuma outra categoria, as rotas de entrega no dia seguinte provavelmente seriam pouco compactas o que demandaria grandes distâncias a serem percorridas.

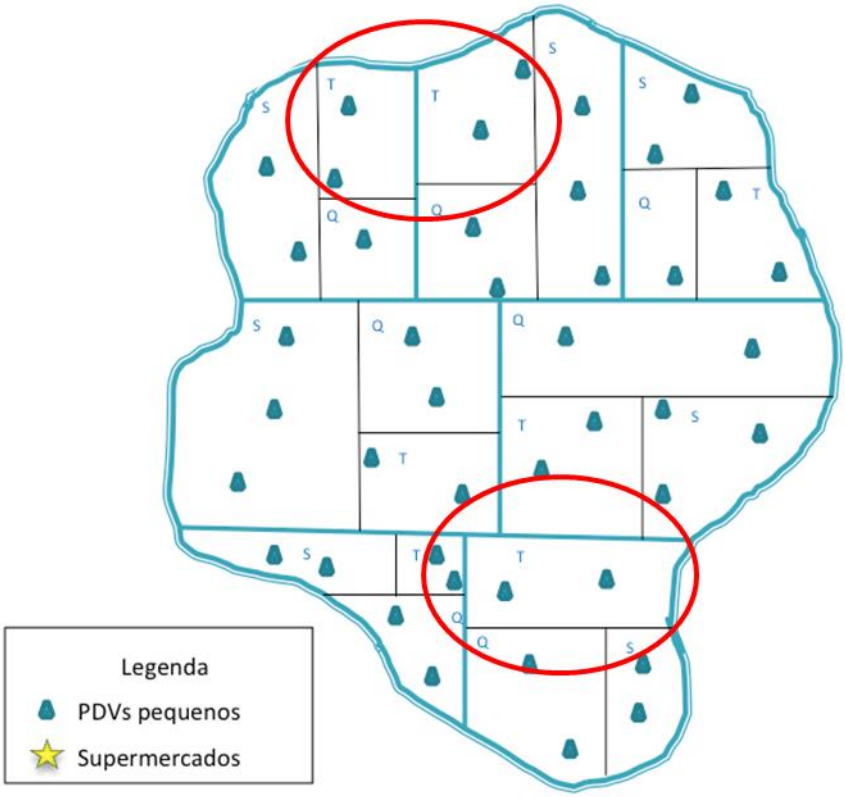

Figura 4.2: Exemplo de Segmentação - Divisão PDVs Pequenos

Após analisado o impacto isolado da categoria PDVs Pequenos, inclui-se a segunda categoria, os supermercados. O processo é repetido dividindo-se todo o território em macrorregiões contínuas que serão atendidas por um único vendedor e em seguida dividida novamente em sub-regiões para cada um dos pares de dias de entrega. Para o exemplo, foi considerado que todo o território é atendido por um único vendedor, por haver um menor número de supermercados em relação aos PDVs Pequenos, e, portanto, dividido em três sub-regiões dos pares de dias de visita.

Nota-se, na Figura 4.3, que há uma sobreposição entre as regiões dos vendedores e, da mesma forma que observado na Figura 4.2, novamente há uma dispersão de pontos visitados nos pares de dias. Como destacado na Figura 4.3, existem pontos da categoria Supermercados que pertencem ao par de dias (*Q*) e estão próximos a pontos da categoria PDVs Pequenos que pertencem ao par de dias (*T*).

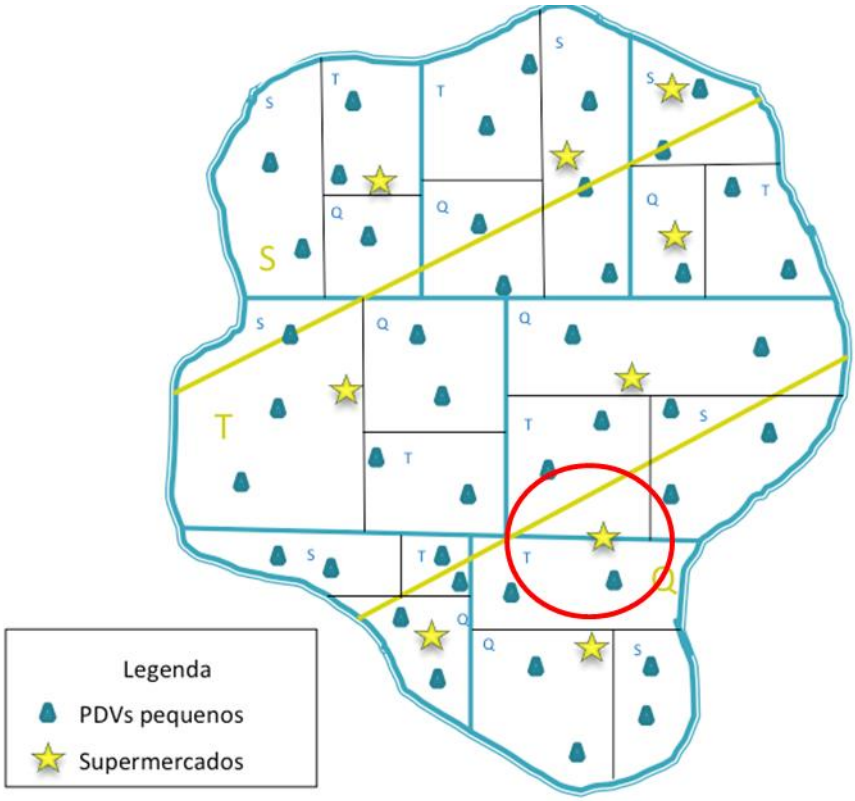

Figura 4.3: Exemplo de Segmentação - Divisão de Supermercados

Do ponto de vista logístico a distribuição espacial com base na segmentação da área para os vendedores pode não ser a ideal, pois os pontos que devem ser atendidos em um mesmo dia podem estar dispersos, seja pela alocação dos vendedores de pontos de venda pequenos, seja pela sobreposição entre as categorias de vendedores. Ocorre, portanto, uma baixa aderência entre Vendas e Logística.

Numa situação real, as demais categorias de PDVs geralmente estão presentes na mesma região, resultando em uma maior sobreposição e, consequentemente, em uma menor eficiência nos roteiros logísticos. Além disso, os PDVs podem ter frequência de visitas diferentes em uma semana. As regiões, na realidade, contem além dos pontos visitados duas vezes por semana, como no exemplo, pontos atendidos uma ou mais de duas vezes por semana. Como foi dito, cada sub-região é atendida em dois dias da semana. Portanto, no dia em que os pontos com apenas uma frequência não são atendidos, a sub-região se torna menos compacta por conter menos pontos atendidos.

Com base nesse cenário hipotético, que ilustra que um agrupamento diferente do praticado hoje pode levar a uma potencial melhoria, foram então analisados dados reais, fornecidos pela empresa, relativos ao CDD de Guarulhos. Os dados caracterizam os pontos de venda atendidos, a frota que os atende e os produtos que são comercializados. As visitas e entregas são caracterizadas pela operação realizada durante os meses de junho e dezembro de 2012 (Junho – Mês de baixa atividade comercial / Dezembro – Mês de alta atividade comercial).

A seguir, analisam-se separadamente as categorias Adegas e Padarias para as visitas realizadas às segundas e terças feiras. O cenário escolhido apenas ilustra na prática o mesmo problema apresentado no cenário hipotético, sendo assim, foram escolhidos apenas dois dias e duas categorias quaisquer de pontos de vendas diferentes.

Na Figura 4.4, coloca-se os PDVs do tipo Adegas. Em verde estão os pontos visitados na segunda. Em vermelho os visitados na terça. Nota-se que acontece na prática o que havia sido observado no modelo teórico, há sobreposição dos pontos tanto para a segundas feiras quanto para as terças feiras.

Figura 4.4: Adegas - Visitadas Segundas e Terças

Da mesma forma que apresentado anteriormente, na Figura 4.5 foram plotados os pontos da categoria Padarias. Em verde estão os pontos visitados às segundas feiras e em vermelho às terças feiras. Novamente observa-se a grande dispersão dos pontos visitados no mesmo dia.

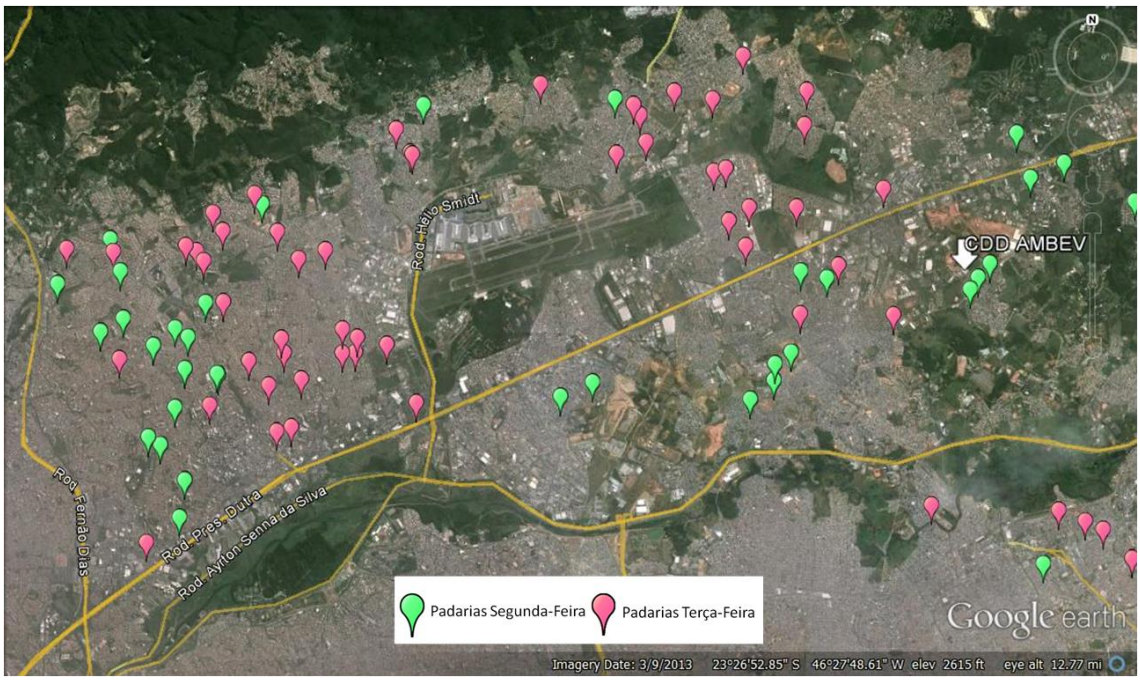

Figura 4.5: Padarias - Visitadas Segundas e Terças

Por fim, na Figura 4.6, apresenta-se a sobreposição entre as categorias Padarias e Adegas tanto para as segundas feiras quanto para as terças feiras. Com isso fica nítido o que já havia sido observado no modelo hipotético. Na Figura 4.3, há sobreposição de dias de visita em diferentes categorias e uma grande dispersão de pontos visitados em um mesmo dia.

Figura 4.6: Adegas e Padarias - Visitadas Segundas e Terças

Finalmente, observando-se todos os PDVs atendidos pelo CDD de Guarulhos nos meses estudados, pode-se notar que o problema ganha maior complexidade e outra potencial melhoria fica nítida: há pontos de vendas muito distantes do CDD que são visitados todos os dias da semana como pode-se observar na Figura 4.7.

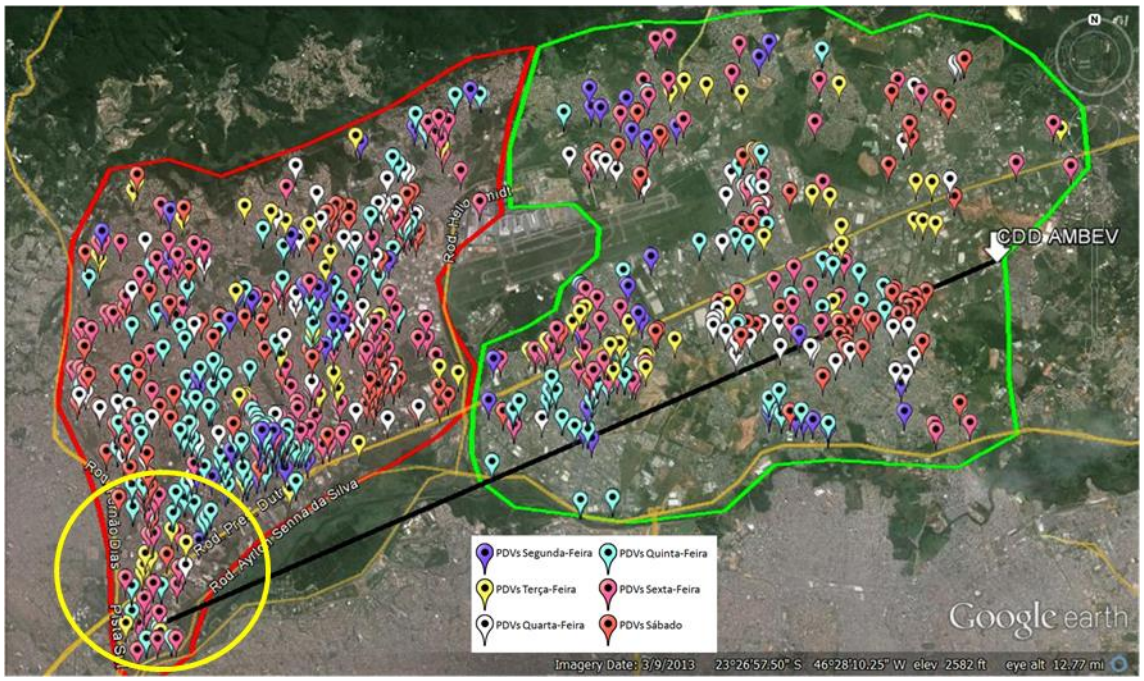

Figura 4.7: PDVs Atendidos pelo CDD Guarulhos - Grandes Distâncias e Altas Frequências

4.2 Definição do problema

Analisando os exemplos hipotético e real citados anteriormente, pode-se concluir que a segmentação dos vendedores por tipo de estabelecimento causa uma dispersão dos pontos de venda atendidos e sobreposição das regiões de atendimento. Nota-se também que a diferença de frequência de visitas, torna as regiões menos compactas. Na prática há pontos onde acontece até seis visitas por semana. Como consequência é necessário um elevado número de caminhões e há uma baixa ocupação da frota.

Para que sejam gerados roteiros mais curtos e com maior ocupação dos caminhões, os pontos de venda devem ser agrupados em regiões compactas.

Sendo assim, propõe-se que os vendedores passem a atuar de duas maneiras distintas: em regiões compactas não segmentadas, ou em regiões não compactas mas segmentadas. Na primeira, retratada na Figura 4.8, todos os pontos são atendidos sem distinção de categoria, ou seja, cada vendedor irá atender um leque de diferentes categorias de pontos, note que cada círculo na Figura 4.8 representa um vendedor. Na

segunda, retratada na Figura 4.9, mantem-se a categorização do vendedor por tipo de segmento, mas eles passam a atender regiões descontínuas de modo a gerar soluções de entrega mais compactas em detrimento das distâncias percorridas pelos vendedores, note que cada círculo representa um vendedor que atende em regiões descontínuas.

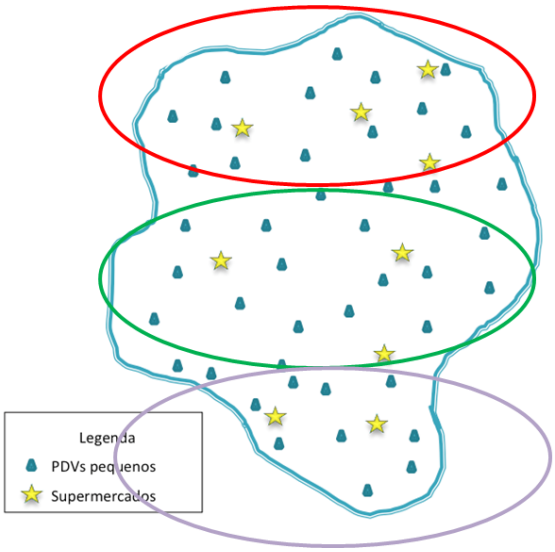

Figura 4.8: Sugestão de atendimento não categorizado

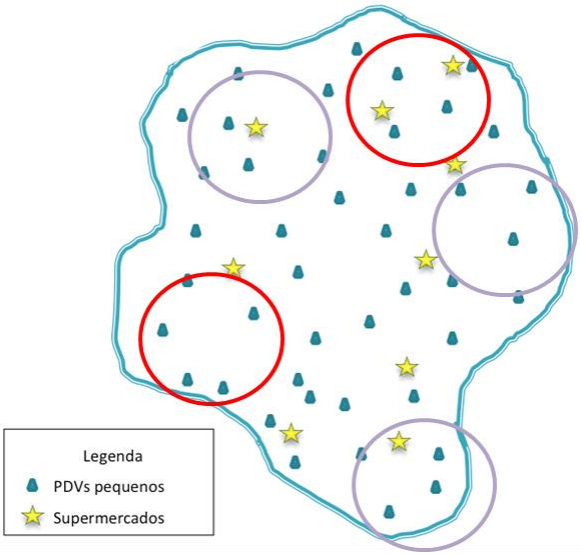

Figura 4.9: Sugestão de atendimento em regiões descontínuas

4.3 Análise de Dados da Operação

Neste item, busca-se estudar os parâmetros logísticos característicos da atual operação de entregas da companhia. Para isso, foram analisados dados das entregas entre 2011 e 2013 fornecidos pela empresa. Em especial, foram analisados o histórico de volumes mensais entregues nos meses entre janeiro e dezembro de 2011 e 2012 e os volumes diários entregues nos meses de janeiro a junho de 2013.

Além do histórico de volumes, foram disponibilizados dados mensais coletados em rota, como descrito no item 3.6. Para cada rota, tem-se: a quantidade de pontos atendidos, a posição geográfica de cada um deles, o tempo total de rota e o volume de mercadoria transportado para cada cliente. A partir desses dados é possível quantificar e caracterizar a operação de distribuição semanal segundo: a média da quantidade de caminhões necessários, a ocupação, a quantidade de entregas, o tempo de rota e a quilometragem das rotas.

Quantificar a operação segundo tais parâmetros de rota será importante para a avaliação dos métodos propostos. Os mesmos parâmetros serão calculados para as rotas geradas por cada método e comparados com o que é atualmente realizado. Assim, mede-se a eficiência de cada método em gerar roteiros mais eficientes.

Os dados das rotas são numerosos e de difícil tratamento. Portanto, a caracterização se torna mais fácil e confiável se forem tomados meses representativos, isto é, meses que representam com razoável precisão uma determinada época do ano. A partir do histórico de volume podem ser definidos os meses representativos, para os quais serão quantificados os parâmetros de rota e que caracterizarão a operação de entregas

O primeiro aspecto a ser ressaltado é o desvio em relação à média dos volumes mensais entre 2011 e 2012. Pode-se observar nos Gráficos 4.1 e 4.2 que existem picos de volume médio entregue por mês.

Além disso, nota-se que a sazonalidade de entregas também é um fator logístico para a Ambev, onde o volume médio de entregas por rota no verão (dezembro) é maior que o volume médio entregue durante o restante do ano. A dispersão de volume entre os meses pode gerar ociosidade dos caminhões nos meses com baixo volume ou a insuficiência da quantidade de caminhões em meses de alta demanda.

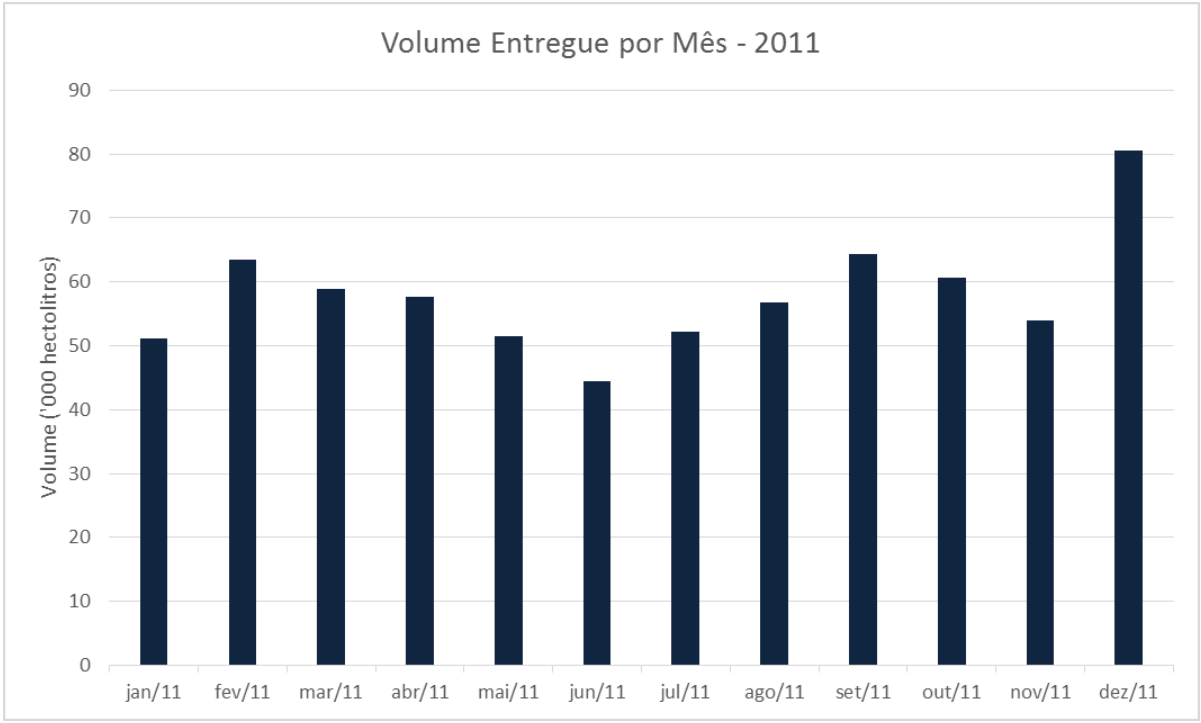

Gráfico 4.1: Volume Entregue por Mês - 2011

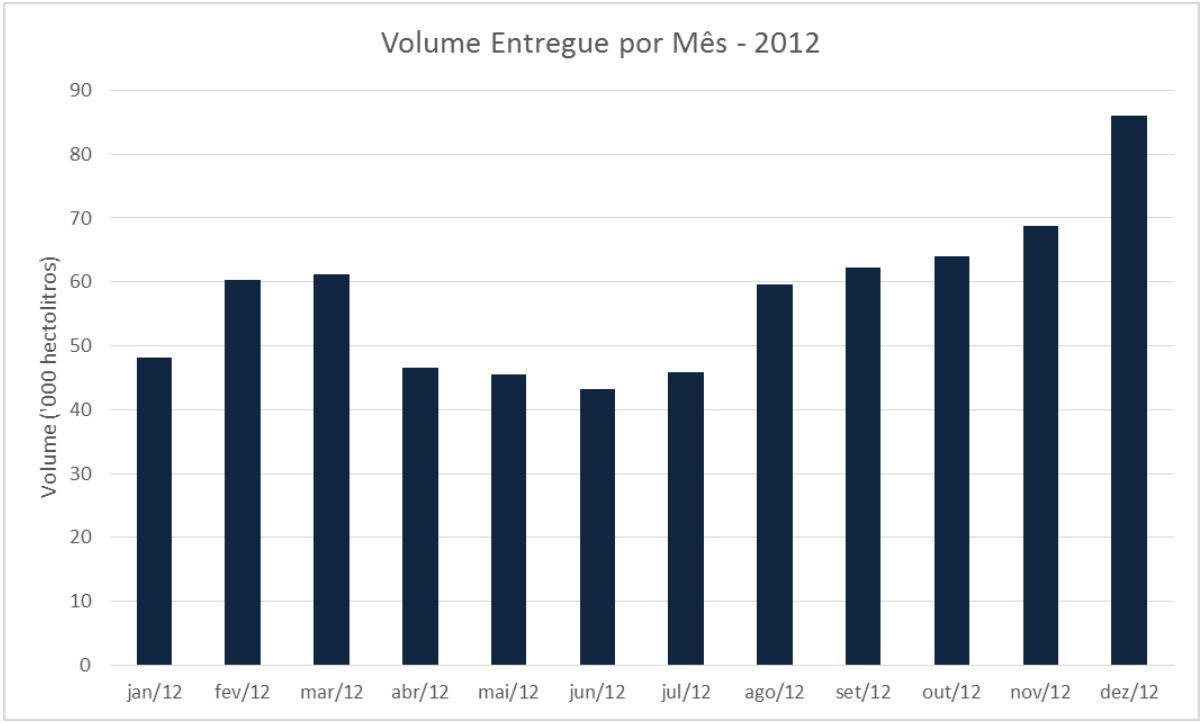

Gráfico 4.2: Volume Entregue por Mês - 2012

Para o ano de 2013, observa-se a mesma tendência dos anos anteriores. Além disso pode-se constatar no Gráfico 4.3 a diferença entre os volumes entregues nos diferentes dias da semana. A sazonalidade de entregas durante a semana pode gerar ociosidade dos caminhões nos dias de baixo volume ou insuficiência nos dias de alta demanda.

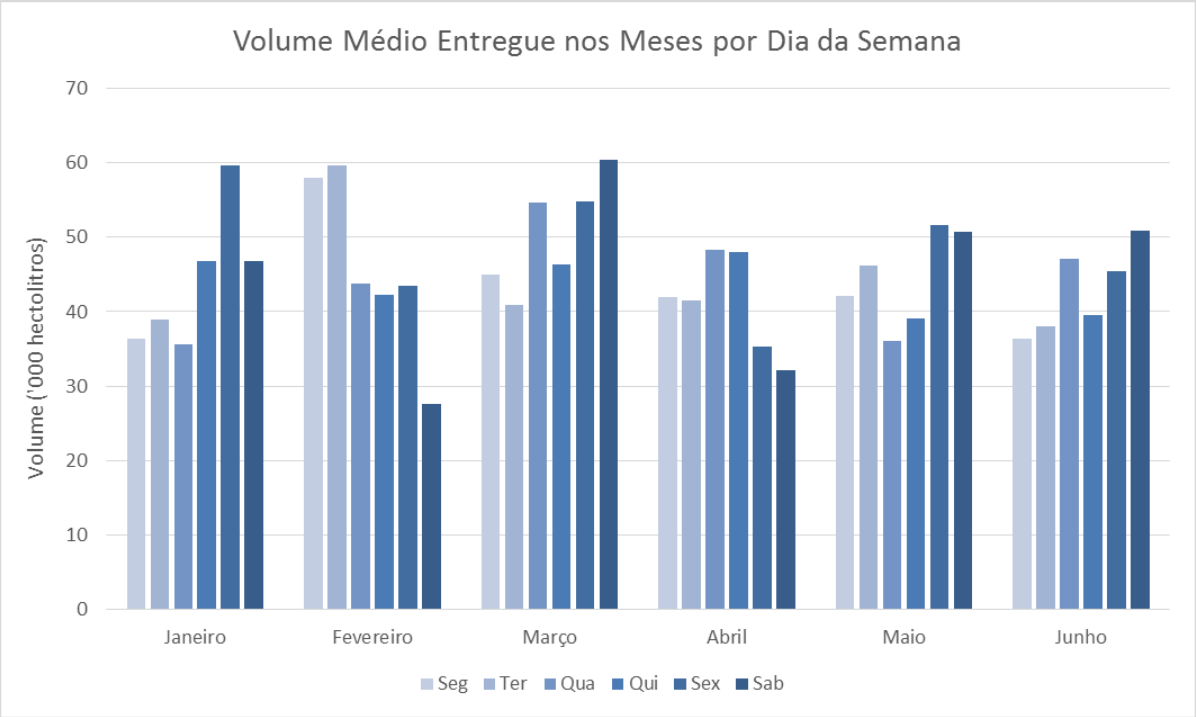

Gráfico 4.3: Volume Médio Entregue no Meses por Dia da Semana

Verificou-se, então, que o mês de dezembro apresenta uma demanda superior à demanda média dos outros meses e deve ser tratado separadamente. O mês de abril apresenta uma demanda próxima à demanda média dos outros meses e pode ser tomado como representativo do restante dos meses do ano. A operação, portanto, é avaliada a partir do dados dos meses de dezembro e abril. Mais adiante estes meses também serão utilizados para avaliação dos métodos propostos.

Outro fator logístico importante para a companhia é a frequência de visitas definida pelo *PLANNER*. Nota-se que cerca de 95% dos pontos recebem uma ou duas visitas por semana. É interessante ressaltar que existem PDVs que recebem até seis visitas por semana como pode-se observar no Gráfico 4.4.

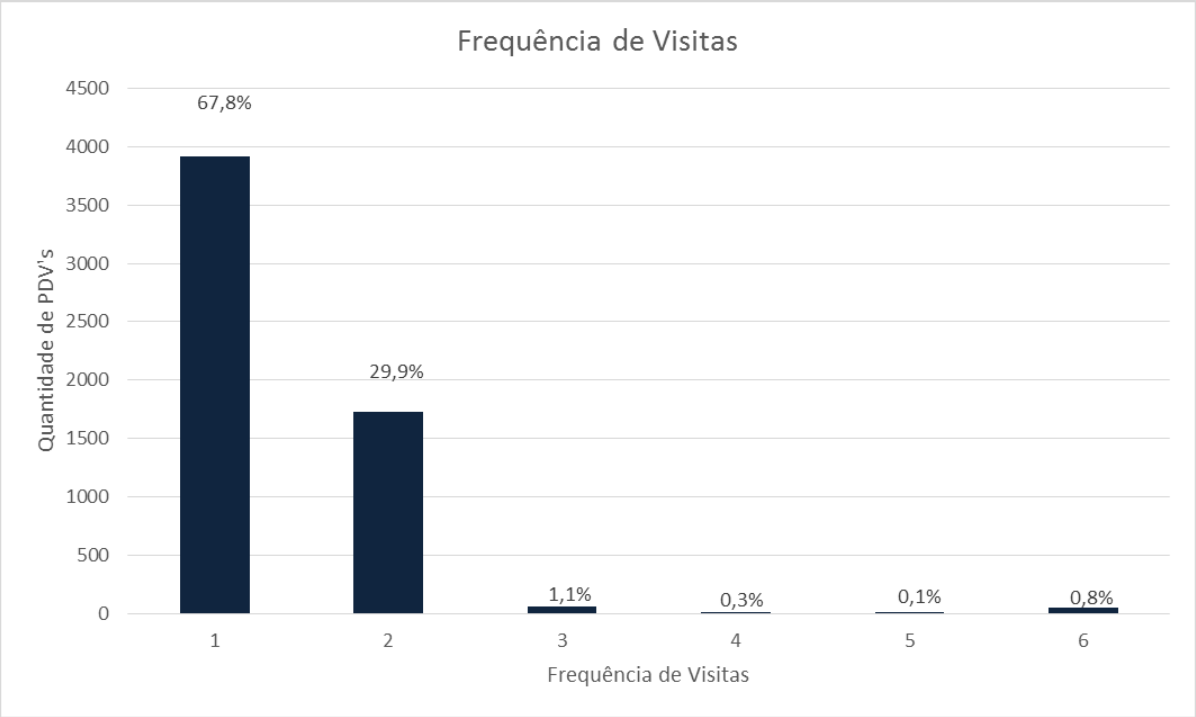

Gráfico 4.4: Frequência de Visitas

Comparando-se a frequência planejada pelo *PLANNER* com o que foi constatado através dos dados fornecidos pela companhia notou-se porém, que há um grande desvio entre o planejado e o executado. Nos Gráficos 4.5 observa-se que nos meses mais coerentes com o planejamento houve apenas 50% das visitas planejadas realmente realizadas.

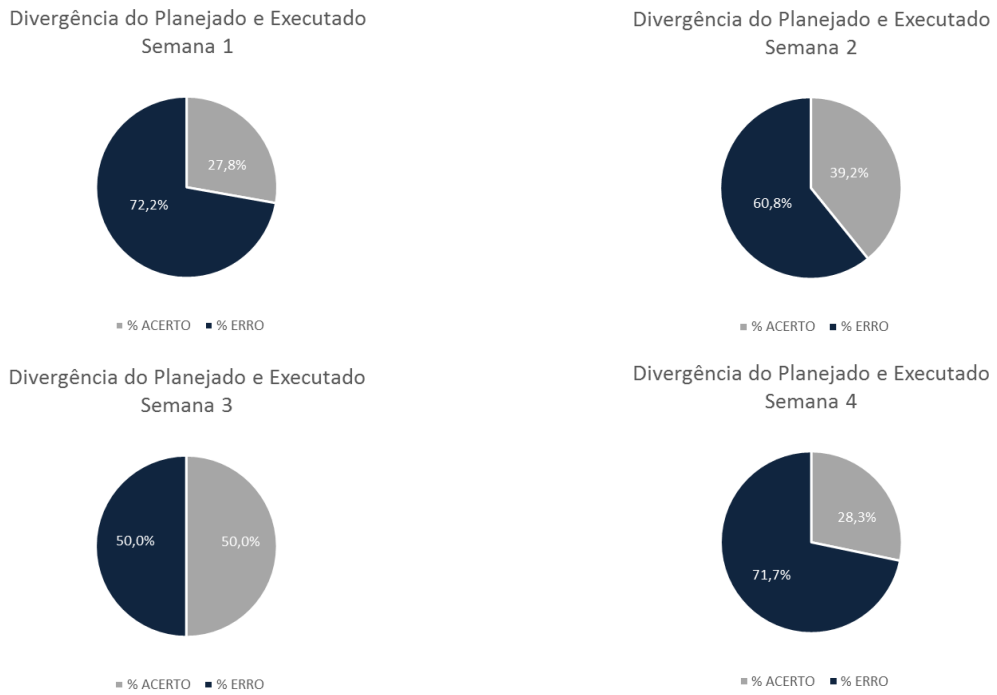

Gráfico 4.5: Divergência entre Planejado e Executado

Para que o *PLANNER* auxilie o planejamento logístico da companhia, quanto mais consistência entre o planejado e o executado, mais fácil será o dimensionamento da frota necessária e, consequentemente, melhor será a porcentagem de ocupação dos caminhões.

A ocupação média em volume é apresentada nos Gráfico 4.6 e 4.7, nota-se que a média de ocupação para o mês de abril é de 66% enquanto para dezembro ela chega a 73%. Pode-se observar que diminuir a quantidade de caminhões utilizados pode levar a um ganho de ocupação média da frota.

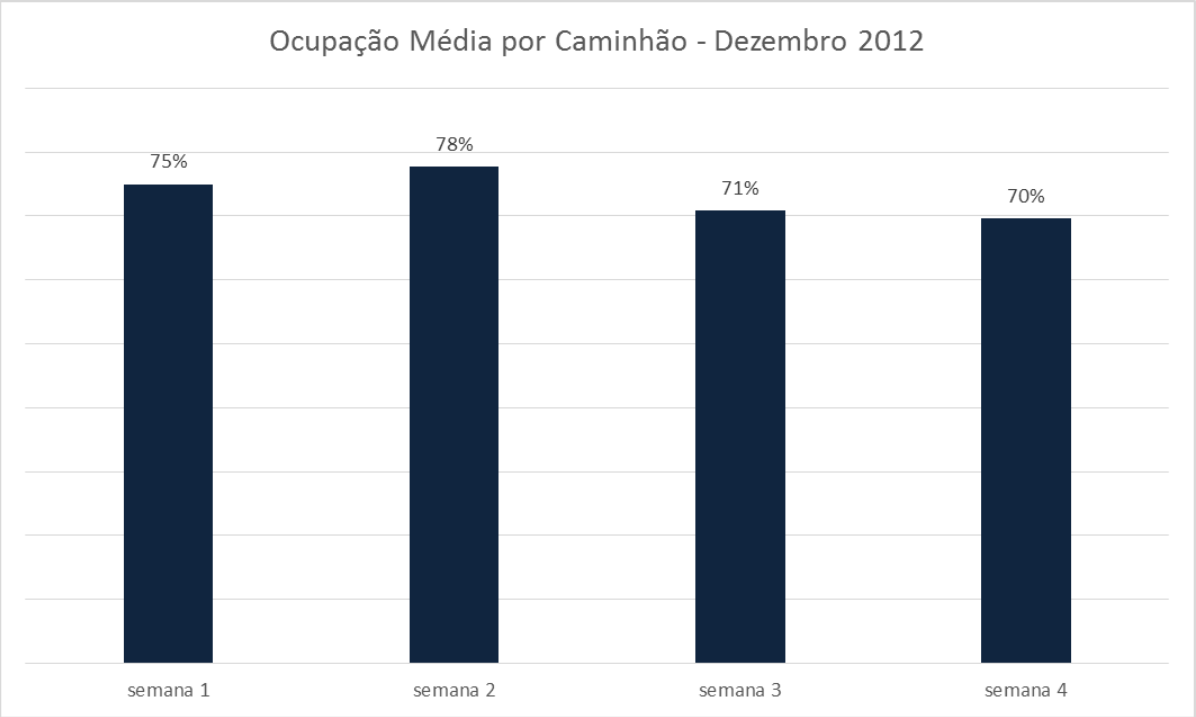

Gráfico 4.6: Ocupação Média por Caminhão – Dezembro 2012

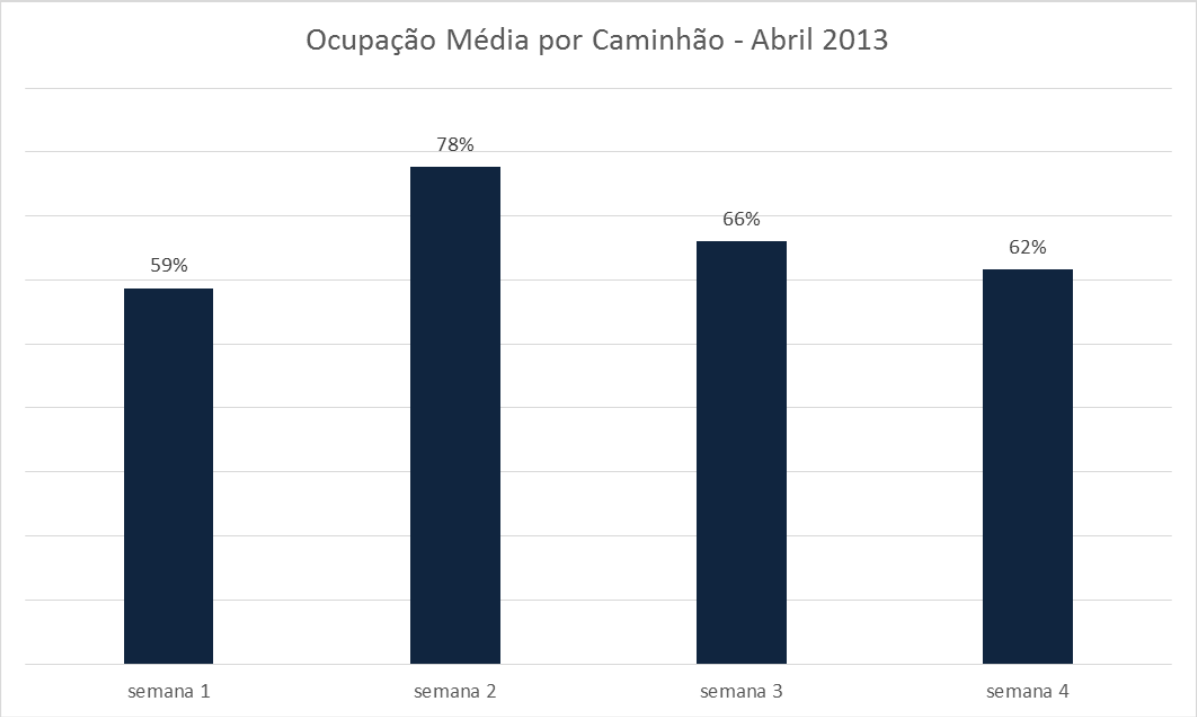

Gráfico 4.7: Ocupação Média por Caminhão – Abril 2013

Pode-se observar que a dispersão de pontos a serem entregues realmente gera rotas mais longas. Maiores distâncias implicam em mais tempo gasto em uma mesma rota, sendo que o outro fator limitante é a jornada líquida de trabalho do caminhoneiro.

O tempo de rota médio para os meses de abril e dezembro é apresentado no Gráfico 4.8 e no Gráfico 4.9 respectivamente. O tempo médio de rota no mês de abril é de 08:37 (oito horas e trinta e sete minutos). Para o mês de dezembro o tempo médio de rota é de 07:53 (sete horas e cinquenta e três minutos).

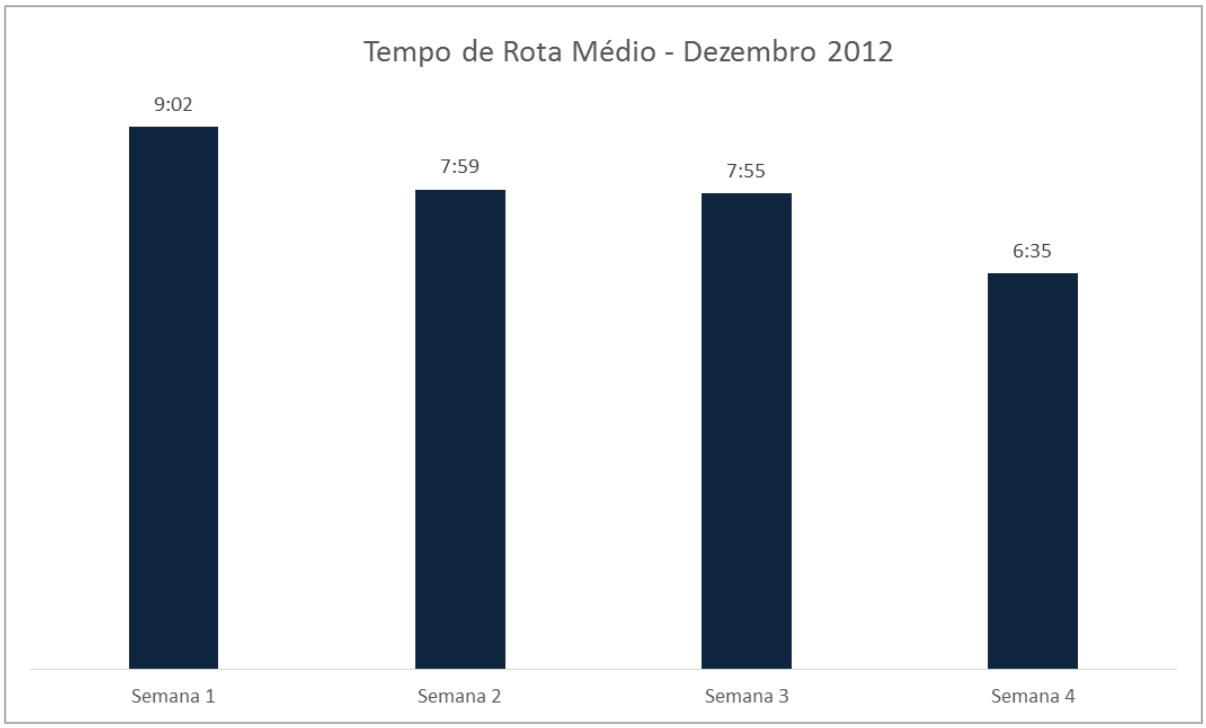

Gráfico 4.8: Tempo de Rota Médio – Dezembro 2012

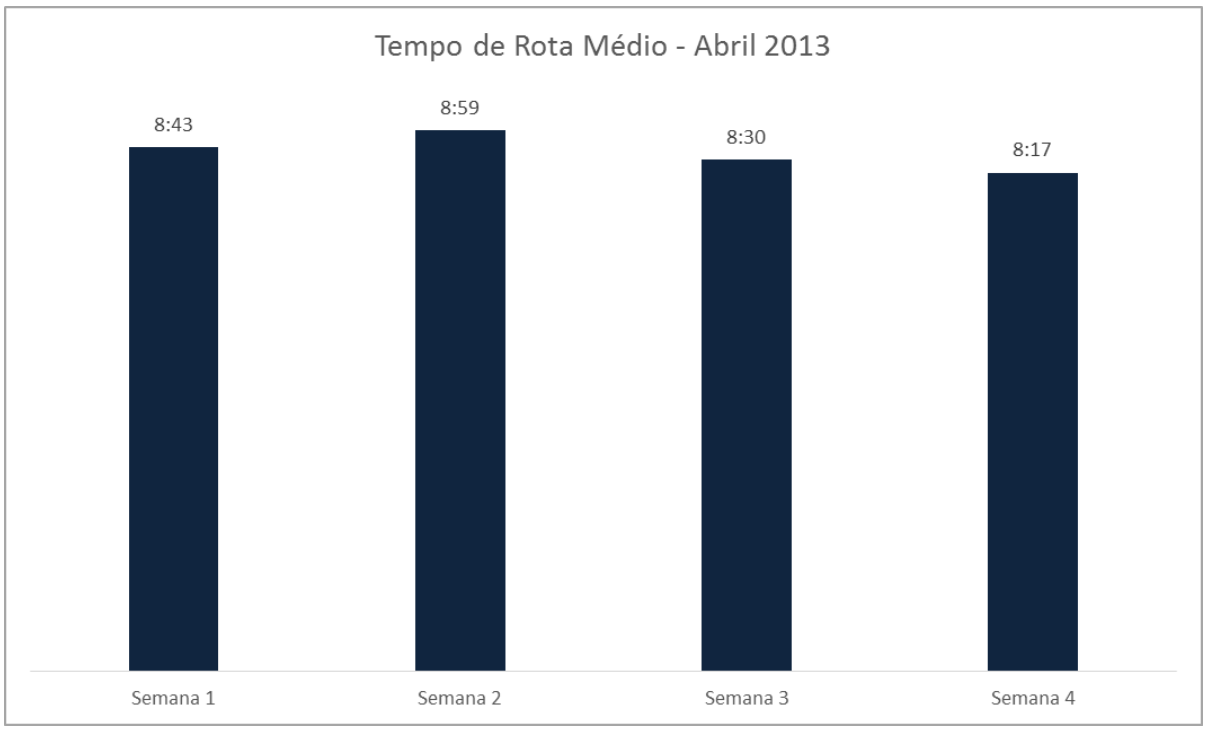

Gráfico 4.9: Tempo de Rota Médio – Abril 2013

Por outro lado, nota-se que é bastante difícil definir um *PLANNER* único para todos os meses do ano tendo em vista a sazonalidade anual observada anteriormente. Sendo assim, como já havia sido proposto, define-se que a operação é melhor

representada se divida em meses característicos sendo abril o representante do ano em meses normais e dezembro o representante dos meses de verão.

Para melhor caracterização destes meses, observou-se as quantidades de caminhões utilizados por semana nos meses estudados. Nos Gráficos 4.10 e 4.11 observou-se a utilização de 181 caminhões em média nos meses normais e 225 caminhões em média em meses de verão. Entretanto, observou-se também que a variação semanal da frota utilizada é relativamente baixa em ambos os meses.

A baixa variação pode ser explicada uma vez que a frota fixa utilizada é constante e busca-se aloca-la totalmente todos os dias. Novamente observa-se que o mau dimensionamento da frota é resultado de um *PLANNER* que penaliza o planejamento logístico e consequentemente, os parâmetros logísticos.

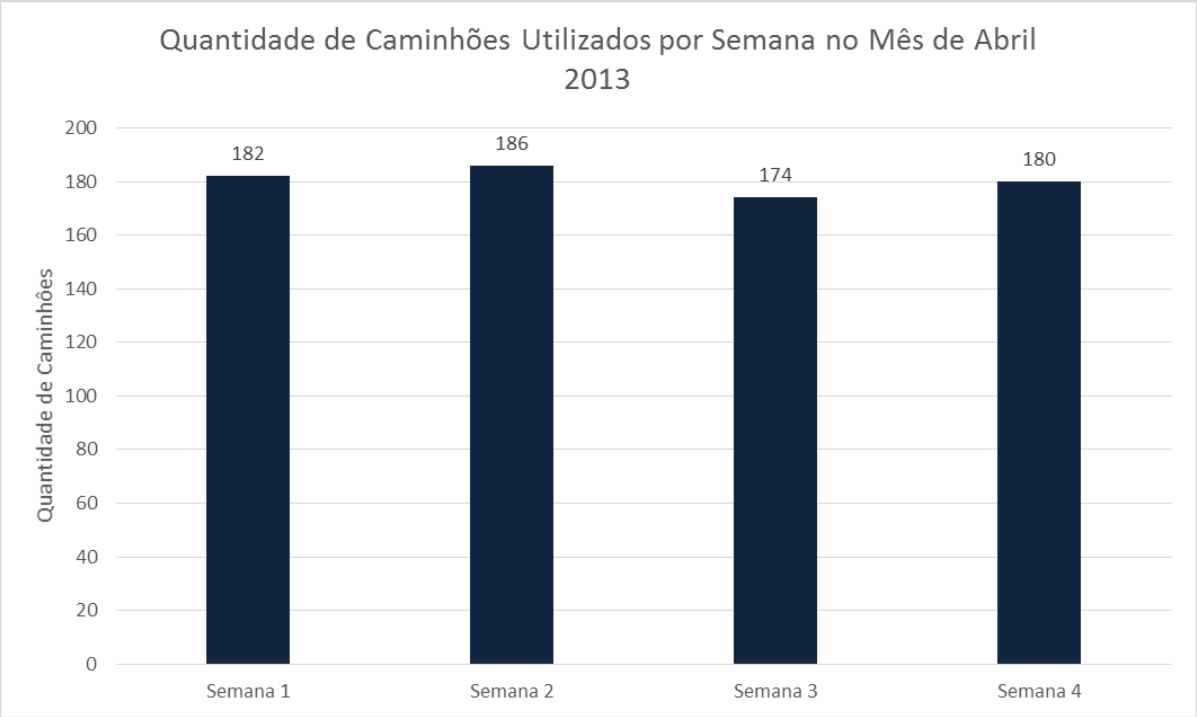

Gráfico 4.10: Quantidade de Caminhões por Semana no Mês de Abril 2013

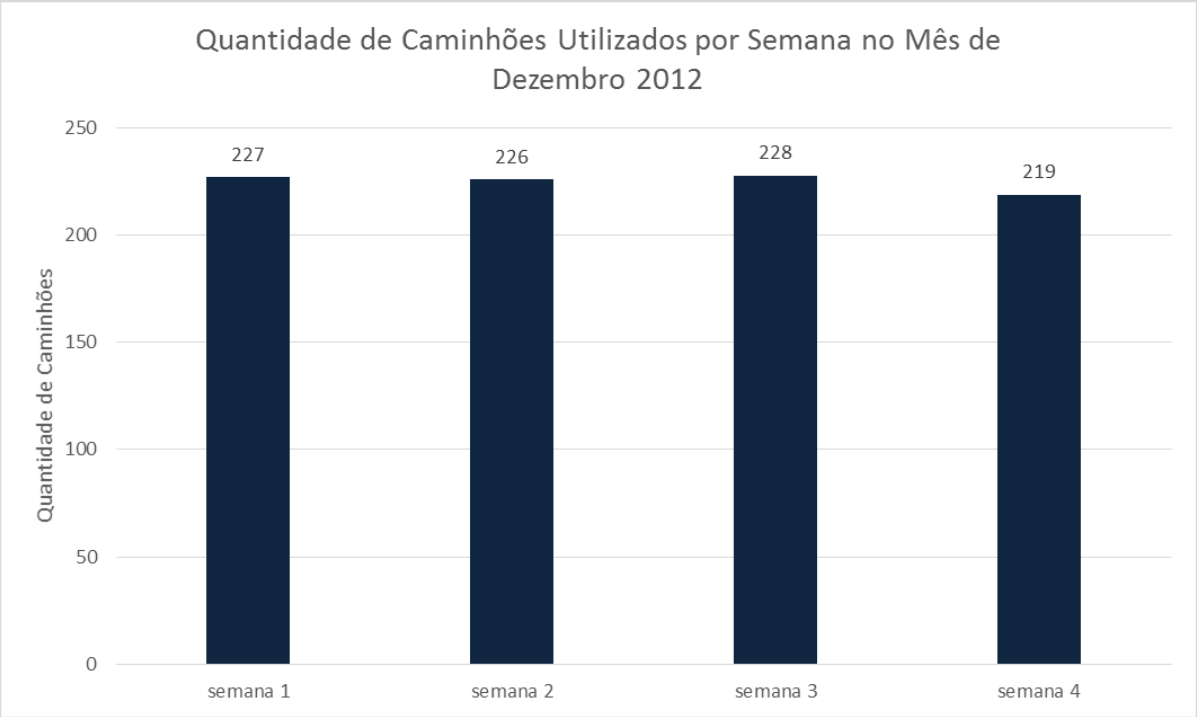

Gráfico 4.11: Quantidade de Caminhões Utilizados por Semana no Mês de Dezembro 2012

Ainda com o objetivo de caracterizar os meses do ano, observou-se as quantidades médias de PDVs por caminhão para os mesmos meses. Nos Gráficos 4.12 e 4.13 observa-se que a média no mês de abril é de 19,5 PDVs por caminhão por dia, enquanto no mês de dezembro é 21,8 PDVs por caminhão por dia.

Este parâmetro é importante uma vez que um excessivo número de pontos de vendas em uma determinada rota poderia inviabilizar a jornada líquida de trabalho do caminhoneiro. Outro ponto importante é que ela será utilizada para comparação da solução proposta neste estudo.

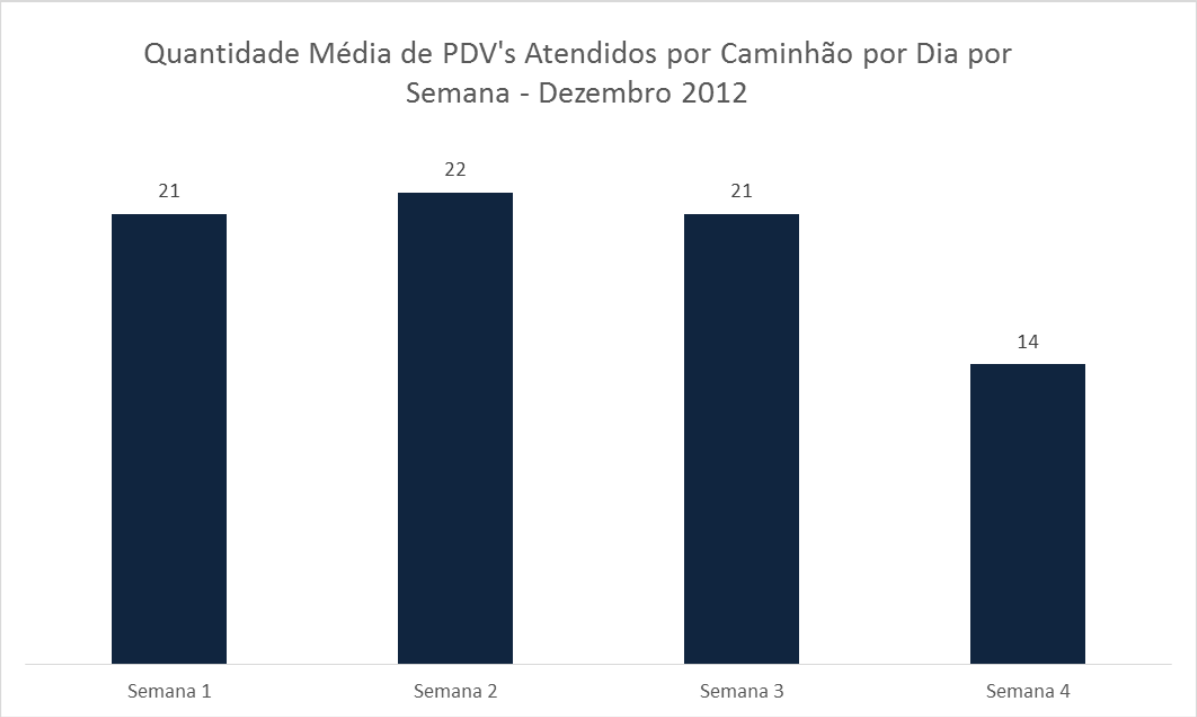

Gráfico 4.12: Quantidade Média de PDVs Atendidos por Caminhão por Dia por Semana – Dezembro 2012

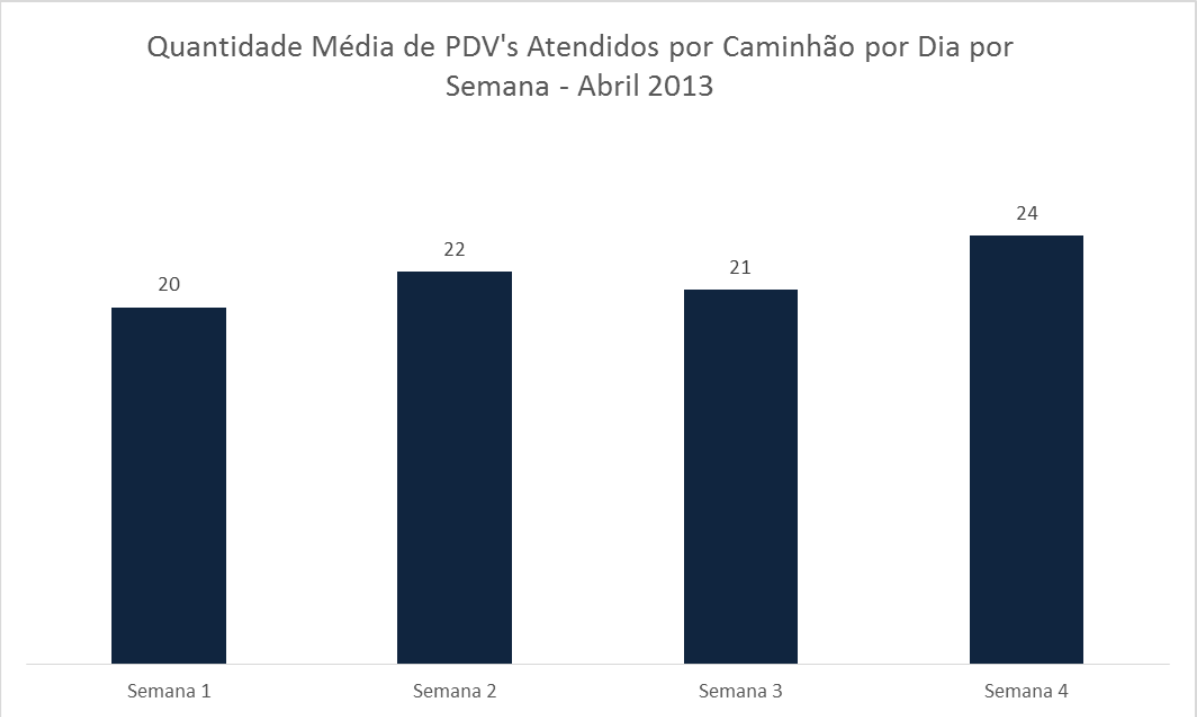

Gráfico 4.13: Quantidade Média de PDVs Atendidos por Caminhão por Dia por Semana – Abril 2013

Por outro lado, a distância média percorrida nas rotas também é um indicador da dispersão de pontos visitados. Para os meses de abril e dezembro representados nos Gráficos 4.14 e 4.15, a distância média é de 46,3 km e 37,5 km respectivamente. Como já previsto anteriormente, pontos menos compactos geram entregas mais longas penalizando os parâmetros logísticos. Sendo assim, quanto maior a compacidade melhor a solução em distância percorrida.

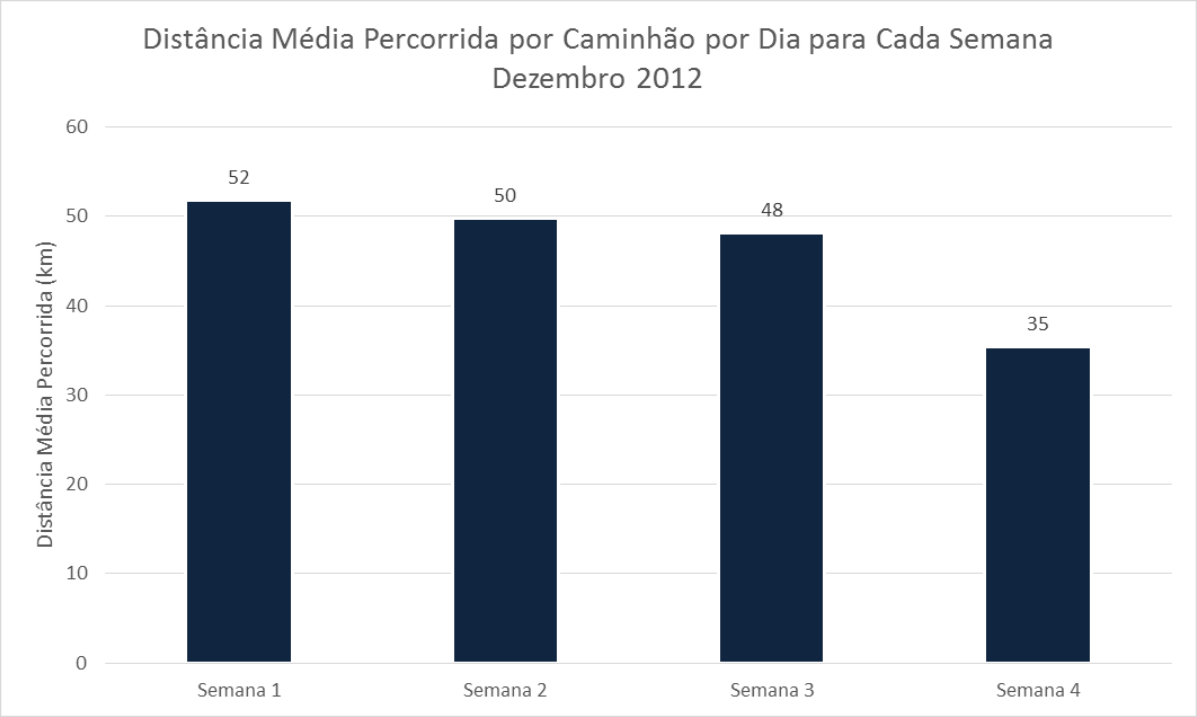

Gráfico 4.14: Distância Média Percorrida por Caminhão por Dia para Cada Semana – Dezembro 2012

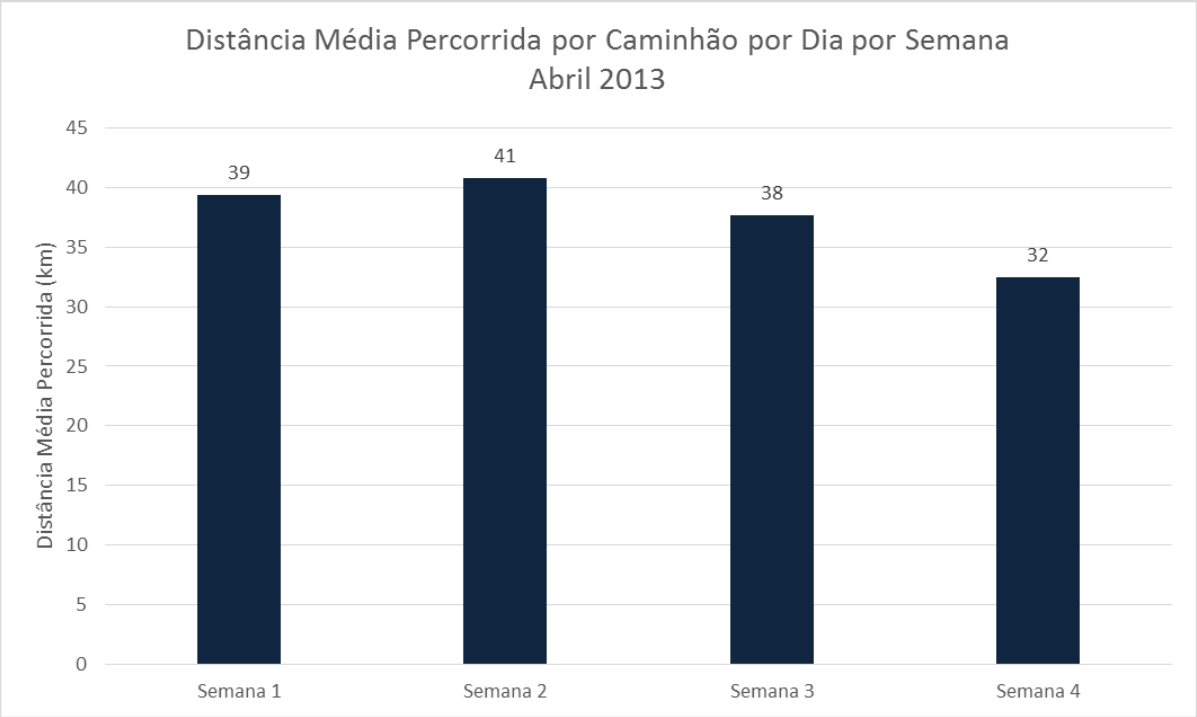

Gráfico 4.15: Distância Média Percorrida por Caminhão por Dia para Cada Semana – Abril 2013

Com o aumento do tamanho dos pedidos nos meses de verão, o volume médio entregue por dia durante o verão é maior que o entregue durante o restante do ano. Com isso, a ocupação do caminhão também é maior fazendo com que os caminhões percorram menos pontos de vendas o que diminui o seu tempo de rota e a distância percorrida.

4.4 Conclusão da Análise de Dados

Estudada toda a estrutura logística da Ambev, o processo de entregas e a segmentação dos vendedores, nota-se que há uma baixa aderência entre o processo Comercial de vendas e o processo Logístico de entregas.

Como apresentado no início do capítulo, áreas que recebem visitas no mesmo dia por vendedores diferentes podem estar muito distantes, dificultando todo o processo de entregas. Além disso, áreas de diferentes segmentos se sobrepõem causando maiores dificuldades para o setor da logística. Pontos visitados mais de uma vez por semana também dificultam este processo.

A sazonalidade de entregas é um fator importante para a logística da Ambev, nota-se que o volume médio entregue por rota durante o verão (dezembro) é maior que o volume médio entregue por rota durante o restante do ano. A dispersão de volume

entre os meses pode gerar ociosidade dos caminhões nos meses de baixo volume ou insuficiência da quantidade de caminhões nos meses de alta demanda.

Analisando a frequência de visitas aos PDVs definida pelo *planner*, nota-se que mais de 95% recebem uma ou duas visitas. O agrupamento dos pontos e a definição da frequência no *planner* devem ser capazes de prever a demanda adequadamente para não haja inconsistência entre o planejado e o realizado como observado neste capítulo.

Deve-se diminuir a quantidade de caminhões utilizados para que aumente-se a ocupação média. Para isso, os pontos devem ser melhor agrupados para que a ocupação e quantidade de caminhões sejam constantes durante o mês.

Os pontos devem ser agrupados de forma compacta para que se possa maximizar a quantidade de PDVs por caminhão e minimizar o tempo e a quilometragem percorrida.

Para que sejam gerados roteiros mais curtos e com maior ocupação dos caminhões, os pontos de venda devem ser agrupados em regiões compactas independentes do tipo de comércio e minimizando a dispersão por conta da frequência.

Conclui-se então que um *PLANNER* mais realístico implicará em um planejamento de frota que possibilitará melhorar a ocupação média do caminhão. Por outro lado, um *PLANNER* que preveja entregas para regiões mais compactas gerará rotas mais curtas e, consequentemente, melhorará ainda mais a ocupação.

No capítulo seguinte apresenta-se mais detalhadamente do que se tratam os problemas de agrupamento (*clustering*) e de roteirização, juntamente com alguns artigos acadêmicos que fizeram uso dessas ferramentas.

5 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA E ARTIGOS RELACIONADOS

5.1 Análise de Agrupamentos (*clustering*) e Estudos Relacionados

Análise de agrupamentos (do inglês *''cluster analysis'')* é a arte de encontrar grupos em uma série de dados. Basicamente busca-se formar grupos de modo que objetos no mesmo grupo sejam similares entre si e objetos em grupos diferentes sejam o mínimo semelhantes possível. Classificação sempre desempenhou um papel importante em ciências. No século XVIII, Linnaeus e Sauvages forneceram uma classificação extensa de animais, plantas, minerais e doenças. Em astronomia, Hertzsprung e Russel classificaram estrelas em várias categorias. Em marketing, é usual procurar padrões de consumo, isso é, grupos de consumidores com necessidades semelhantes.

Cerca de 50 anos atrás, biólogos e cientistas sociais começaram a pesquisar métodos sistemáticos para encontrar grupos em seus dados. Como surgimento da ciência da computação a manipulação automática e eficiente de dados, permitindo para época utilizar algoritmos para o ato de agrupar. Hoje métodos de análise de agrupamentos são aplicados em vários domínios, incluindo inteligência artificial e padrões de reconhecimento, ecologia, economia, geociências, marketing, medicina, política e muitas outras.

Análise de agrupamentos pode ser usada não só para identificar uma estrutura já presente nos dados, mas também para impor uma estrutura em uma série de dados, mais ou menos homogênea, que precisa ser dividida de uma maneira ‘’justa’’. Por exemplo, dividir um país em áreas telefônicas. Note que análise de agrupamentos é diferente de análise classificatória, pois ela estabelece os grupos enquanto que análise classificatória designa objetos a grupos previamente definidos. (Kaufman, 1990).

Análise de agrupamento tem sido a base de muitas descobertas de conhecimento em estatística, extração de dados e reconhecimento de padrões. Existem dois ramos principais entre os algoritmos de análise de agrupamentos: Particional e Hierárquico. (Jain et al, 1999).

Um método de particionamento (particional) constrói *k* agrupamentos (*clusters*); em outras palavras, classifica ou organiza o conjunto de dados em *k* grupos que satisfaçam as seguintes condições:

- Cada grupo deve conter pelo menos um objeto.
- Cada objeto deve pertencer a exatamente um grupo.

Métodos de particionamento são aplicados quando se quer classificar os objetos em *k* grupos, em que *k* é fixo. Alguns exemplos são:

- Tem-se uma série de dados de 100 bactérias. Elas formam grupos?
- Um certo critério de desempenho foi medido em 800 empresas. Existem grupos de empresas que tenham performance semelhantes? (Kaufman, 1990)

É importante ressaltar que usualmente o número de agrupamentos *k* é um dado de entrada fornecido pelo usuário; no entanto, é possível que essa decisão seja tomada de uma forma automática, isto é, deixar que o computador teste todas as possibilidades e escolha aquela que é melhor relativamente a um certo critério.

Por outro lado, os algoritmos hierárquicos não constroem uma partição com *k* grupos, mas trabalha com todos os valores de *k*. Isso é, a partição para $k = 1$ (todos os objetos estão juntos em um mesmo grupo) é parte do resultado de saída, também a situação para $k = n$ (cada objeto forma parte de um grupo com um único elemento). Todos os valores de $k = 2, 3, ..., n-1$, são cobertos em um transição gradual: a única diferença entre $k = r$ e $k = r + 1$ é que um dos grupos em de *r* se divide para obter $r + 1$ grupos.

Existem duas técnicas hierárquicas: a aglomerativa e a divisiva. Métodos aglomerativos partem com todos os objetos separados, isso é, no passo 0 tem-se *n* grupos. Em seguida a cada passo dois grupos fundem-se até que só reste um grupo. Métodos divisivos seguem a ordem inversa, partindo com todos os objetos unidos em um grupo e a cada passo um novo grupo é criado até que se formem *n* grupos, onde *n* é o número de objetos. (Kaufman, 1990).

Técnicas hierárquicas e métodos de particionamento não competem entre si, pois tentam descrever os dados em maneiras totalmente diferentes. Métodos hierárquicos têm sido usados em aplicações biológicas para classificação de animais e plantas, já que a sua estrutura se assemelha à de uma árvore evolucionária. (Kaufman, 1990).

No âmbito desta literatura, foi feito um estudo de artigos que se encaixavam nesta família de problemas, e que, a seguir, são detalhados

Bergey e Ragsdale (2002) estudaram um problema de divisão em distritos para a distribuição de energia elétrica no República de Gana. A ideia principal era particionar em unidades de negócio (companhias de distribuição) a transmissão e distribuição de energia elétrica. A divisão foi similar aos problemas de distritos políticos e de divisão dos territórios de vendas, em que a criação de grupos é baseada na receita ou potencial de lucro de cada região. Além disso, vale destacar um fator relevante considerado no estudo foi a proximidade dos distritos. Os resultados obtidos pelo estudo, segundo seus autores, foram satisfatórios pelo fato de além de resolver o caso em questão, o algoritmo pode ser utilizado em diversos locais, impondo-se as restrições de cada um demandava.

Blakeley e Bozkaya (2003) avaliaram o desenvolvimento de um sistema de planejamento e uma programação automática de rotas para os técnicos da *Schindler*

Elevator Corporation, em toda a América do Norte, a fim de otimizar o custo total de viagem. A *Schindler* faz a manutenção de milhares de elevadores e escadas-rolante, e para a atribuição de suas rotas, foram considerados alguns fatores como, a proximidade geográfica dos clientes, a quantidade de serviço de cada técnico, o conhecimento necessário para a determinada manutenção, a relação com os clientes e as restrições dos mesmos. Além disso, o sistema deveria considerar tempos precisos de viagem e deixar um tempo suficiente para as chamadas de emergência. O procedimento do algoritmo executava duas tarefas principais, atribuir o dia de visita de cada cliente e a sequência diária dessas visitas. Através da melhoria na eficiência, o sistema trouxe uma economia, segundo os pesquisadores do estudo, de 1 milhão de dólares anuais para a empresa.

Mulder e Wunsch (2003) foi estudada uma solução para o problema do caixeiro viajante a partir da Teoria da Ressonância Adaptiva (ART) e de uma variação do algoritmo de Lin-Kernighan de otimização local, com o intuito de utilizar o paradigma de "divisão e conquista" dos problemas de clusterização. A Teoria da Ressonância Adaptativa promove um rápido e efetivo modelo de clusterização e o paradigma trouxe uma flexibilização para dividir hierarquicamente os grandes problemas em pequenos *clusters.* O algoritmo desenvolvido demonstrou, segundo os seus autores, que é possível gerar um melhor dimensionamento e uma melhor flexibilização do problema com a abordagem da divisão e conquista.

Haugland, Ho e Laporte (2005) trataram do problema de distribuição de entregas com demanda estocástica, com o principal objetivo de dividir territorialmente as regiões de entrega. Para a modelagem da segregação territorial foram usadas hipóteses, como por exemplo, de que cada região possui apenas um veículo operando e pode voltar somente uma vez para o centro de distribuição. Além disso, existe uma distância máxima que um veículo pode viajar, e a partir daí o programa gera divisões que atendam essas limitações. Esse artigo é pouco relevante para o estudo em questão já que a demanda está definida, entretanto, existem algumas hipóteses adotadas que podem ser utilizadas como parâmetros de entrada do presente estudo.

Redmond e Heneghan (2006) propuseram um método para iniciar um algoritmo de partição, no qual cada agrupamento produzido deveria ser o mais similar possível (dentro dos parâmetros escolhidos). Para tanto, os autores utilizaram um método que segmenta cada local pela média dos pontos de forma que a distância entre os pontos e o centro seja minimizado. Nesse artigo um ponto que pode ser destacado para o presente estudo, é a maneira de se fazer uma segmentação através da média entre os pontos estudados.

Ríos-Mercado e Fernández (2007) consideraram um problema de *design* de território comercial (TDP) motivado por uma empresa de bebidas em Monterrey (México) que buscava dividir a cidade em diferentes territórios adequados para os seus propósitos comerciais. Em particular, a empresa queria criar regiões balanceadas tanto em tamanho quanto em número de clientes, demanda por consumo e carga de trabalho.

Para resolver o problema, os autores utilizaram uma meta-heurística do tipo GRASP reativo (*Greedy Randomized Adaptive Search Procedure*). Os resultados obtidos foram, segundo os autores, satisfatórios, atendendo os requisitos da empresa. Em 159 de 160 instâncias testadas, o método provou-se eficiente.

Pereira, Figueira, Mousseau e Roy (2007) procuraram comparar duas partições em um grafo conexo, sem direção, e planar de acordo com um atributo específico. Para tanto, os autores propõem 3 maneiras (índices) de se compararas duas partições uma da outra: a compatibilidade, a inclusão e a distância. O estudo chega à conclusão que esses índices podem ser fortemente utilizados em problemas de partição.

Schaeffer (2007) apresenta uma pesquisa essencialmente teórica que se preocupa em revisar diversas definições e métodos que compõem o processo de clusterização de grafos. Dentre as definições e métodos revisados nesse artigo, podem ser destacados: algoritmos que agrupam grafos; tipos de clusters em grafos; maneiras de se medir a qualidade de um cluster em grafos; clusterização local; e a dificuldade em definir, comparar e validar um benchmark no processo de clusterização de grafos.

Chao, Ye e Miao (2007) propuseram um algoritmo chamado de "Two Level Genetic Algorithm" (TLGA) usado para problemas do caixeiro viajante clusterizado. Segundos os pesquisadores, esse algoritmo conseguiu aproveitar as principais vantagens dos dois sub-algoritmos que o compõem, evitando, ao mesmo tempo, seus principais defeitos. O trabalho é concluído demonstrando a sua maior eficiência quando comparada com os algoritmos já consagrados no meio acadêmico, e por também esse algoritmo ser eficiente quando utilizado em problemas do caixeiro viajante de larga escala.

Ricca e Scozzari (2008) trataram do problema de distritos políticos (*Political Districting*) utilizando uma nova abordagem para o balanceamento populacional de regiões, a heurística de Voronoi ponderada. O método já era utilizado em geometria computacional, mas foi utilizado pela primeira vez em um problema de balanceamento populacional neste estudo. O objetivo do estudo foi criar uma nova ferramenta que pudesse se mostrar mais eficiente tanto em compacidade das regiões quanto em balanceamento da população. Após a criação, foi comparado à atual divisão distrital na Itália e, apesar do estudo ter gerado soluções com boa compacidade, não demonstrou um bom balanceamento populacional em relação ao modelo atual. Os autores sugeriram a utilização de uma busca local (*local search*) como possível aperfeiçoamento do método.

Chaves e Lorena (2008) estudaram sobre o problema de dividir territorialmente uma demanda já definida de forma a atender as necessidades dela de forma homogênea, onde cada região é especificada por um centroide, e deve ter uma capacidade máxima e a menor diferença possível. Esse centroide é definido através da mediana entre os pontos dessa região, o que torna esse estudo simples em comparação aos outros

métodos estudados. Esse artigo aborda outro ponto interessante que pode ser estudado que é o agrupamento através de um centroide definido pela mediana.

5.2 Análise de Roteirização e Estudos Relacionados

A eficiência do processo de dividir em *clusters* utilizando as restrições apresentadas, para este trabalho, estão diretamente relacionadas à otimização das rotas que serão criadas a partir dos pontos definidos em um mesmo conjunto clusterizado. Por isso, fez-se necessário o estudo da literatura sobre problemas de roteirização.

O problema de *roteamento* (ou *roteirização*) de veículos (do inglês americano "*routing*" ou britânico "routeing") consiste em determinar o(s) roteiro(s) para atendimento de um conjunto de pontos, buscando minimizar o custo total e assegurando que cada ponto seja visitado pelo menos uma vez e que a demanda em qualquer roteiro não exceda a capacidade do respectivo veículo. Em outras palavras, quais atendimentos (coletas, entregas, ou visitas de serviço) devem ser alocados a cada veículo de uma frota disponível, e qual o roteiro (ou sequência de paradas) de cada veículo, de forma a minimizar o custo total do serviço, geralmente composto da soma ponderada dos custos fixos e dos custos proporcionais à distância percorrida pelos veículos e ao tempo de viagem. Em poucas palavras, um problema simples de ser enunciado, embora muito difícil de ser resolvido até a otimalidade; uma das histórias de maior sucesso da Pesquisa Operacional, tendo em vista o impressionante número de artigos publicados na literatura científica ao longo de mais de quatro décadas (Assad, 1988).

Quando a definição dos roteiros, essa atividade envolve não só aspectos espaciais ou geográficos, mas também temporais, tais como restrições de trânsito e de horários de atendimento nos pontos a serem visitados. Para essa classe de problemas são então denominados, roteirização e programação de veículos (Cunha, 1997).

A literatura nesse campo apresenta situações com características operacionais variadas como o tipo de distribuição (entrega e/ou retirada), natureza do serviço (transporte de produtos/pessoas ou serviço de entrega) janela horário de visita restringida pelo cliente, limitação de capacidade do veículo, tempo máximo de rota, tipos específicos de veículos para servir determinados clientes, dentre muitos outros. O objetivo de uma solução pode ser enunciada como minimizar custos totais fixos e variáveis, como tamanho da frota e distancia total dos deslocamentos. A maioria dos problemas de roteirização de veículos tem natureza combinatória e dificuldade inerente de resolução. (Pureza et al, 2011).

O primeiro problema de roteirização a ser estudado foi o do folclórico caixeiro viajante (no inglês "*traveling salesman problem*" ou TSP), que consiste em encontrar o roteiro ou sequência de cidades a serem visitadas por um caixeiro viajante que minimize

a distância total percorrida e assegure que cada cidade seja visitada exatamente uma vez. Problemas de roteirização de veículos são muitas vezes definidos como problemas de múltiplos caixeiros viajantes com restrições adicionais de capacidade, além de outras que dependem de cada aplicação. (Cunha, 2000).

Sob a ótica de otimização, os problemas de roteirização de veículos, incluindo o caso particular do caixeiro viajante, pertencem à categoria conhecida como NP-difícil (do inglês "*NP-hard*"), o que significa que possuem ordem de complexidade exponencial. Em outras palavras, o esforço computacional para a sua resolução cresce exponencialmente com o tamanho do problema (dado pelo número de pontos a serem atendidos). Em termos práticos, isto significa que não é possível resolver até a otimalidade problemas reais pertencentes à classe NP-difícil. Consequentemente, os métodos de solução de todos os softwares e aplicativos comerciais encontrados no mercado para roteirização de veículos são heurísticos, isto é, não asseguram a obtenção da solução ótima do ponto de vista matemático. (Cunha, 2000).

Agrupar uma série de dados em grupos homogêneos pode simplificar enormemente a solução de um modelo e reduzir o seu tempo de processamento. Usando análise de agrupamentos pode-se reduzir um modelo matemático de um número muito grande de clientes para um pequeno número de grupos, consequentemente reduzindo o tamanho do problema. (Yu, 2013).

Por fim, foram observados neste estudo os seguintes artigos referentes a problemas de roteirização.

Beasley (1983) tratou do problema de roteirização de veículos (*vehicle routing*) através da implementação do método de roteirização seguido de clusterização (*Route first-cluster second*). Para isso, definiu-se uma grande rota genérica passando por todos os clientes com retorno ao depósito no final. A partir desta solução inicial, foram definidas rotas de menores custos entre o depósito e "n" pontos de interesse, impondo-se que o custo de chegar até o cliente "n" é o custo de sair do depósito e ir até 1, mais o custo de 1 até 2, ..., mais o custo de n-1 até "n". Em seguida, dividiu-se esta solução em diversas rotas independentes que, quando em conjunto, definem a rota de menor custo até "n". Desta forma é gerada uma roteirização seguida de clusterização. Utilizando este método foram obtidos resultados satisfatórios em 25 experimentos genéricos. Em 80% dos casos os resultados gerados foram iguais ou melhores do que os já conhecidos pela literatura.

Kant et al (2004) descrevem um trabalho realizado entre 2004 e 2005 entre a Companhia da Coca-Cola e a companhia de softwares ORTEC e a Universidade de Tilburg no desenvolvimento de um software capaz de otimizar o processo de escolha de rotas para a entrega dos produtos da Coca-Cola. Para resolver esse problema de roteirização o software realizava 4 atividades: Definia as rotas iniciais com 2 algoritmos diferentes ("*saving-based construction algorithm*" e "*sequential insertion algorithm*"); fazia uma busca local para melhorar os algoritmos e assim as rotas iniciais (Através de 2

métodos: 1-Tentava adicionar novos pontos de visita numa rota já definida, 2-Trocava pontos de visita entre duas rotas ou mais rotas.); aplicava uma função de clusterização para tornar as rotas mais atrativas visualmente; e, finalmente, designava rotas para motoristas com experiência nas regiões a serem visitadas.

Após a implantação do software vários indicadores obtiveram melhoras, dentre eles: o número de entregas perdidas, devoluções e custos de mão de obra caíram; e mais produtos foram entregados por hora. Outra melhora indireta que foi observada após a implantação desse software foi a redução de consumo de combustíveis fósseis e por consequência a diminuição de emissão de gases do efeito estufa. O sucesso do software foi tamanho, que o grupo acabou vendendo o software para outras companhias e obtendo um retorno do investimento de 100% em um ano.

Yu e Hoff (2013) abordaram o problema logístico enfrentado pela empresa EEI (*Energy Education, Inc*), especializada em implementar programa de conservação de energia para escolas, universidades e grandes igrejas. Os seus consultores interagem pessoalmente com os seus clientes, muitas viagens são demandas semanalmente, gerir as viagens buscando mínimo custo de deslocamento e garantir que todos os clientes sejam atendidos é essencial. O objetivo do artigo é minimizar o custo total do consultor que viaja através de um modelo *cluster-first, route-second.* A pesquisa, segundo os pesquisadores, obteve resultados satisfatórios gerando uma redução nos custos da empresa em até 24%, sem contar o fornecimento de uma poderosa ferramenta de planejamento na tomada de decisão gerencial e simulação na mudanças dos negócios. Esse artigo apresenta semelhanças com o problema estudado, já que aborda a clusterização em conjunto com a roteirização.

6 METODOLOGIA PROPOSTA

A seguir apresentam-se os dois métodos propostos para programação dos vendedores. Programar os vendedores significa designar, para cada ponto de venda, o dia da semana em que ocorrerá a visita do vendedor. Portanto, programar os vendedores, significa basicamente agrupar os pontos de venda em dias da semana. Os métodos propostos estão baseados em métodos de agrupamento ou do inglês *clustering*.

O primeiro método proposto é denominado método das regiões contínuas ou método arrastão. Dada certa região, ela é dividida em seis grupos de regiões contínuas, sendo cada grupo um dia da semana. Ao fim da aplicação desse método, cada ponto de venda pertencerá a um grupo e estará definido o dia cujo vendedor deverá visita-lo.

O segundo método proposto é denominado método das regiões descontínuas ou método caminhão. Dada certa região, ela é inicialmente dividida em pequenos grupos de regiões limitadas pela capacidade de um caminhão. Em seguida esses grupos são combinados para formarem seis regiões descontínuas, sendo cada região um dia da semana. Ao fim da aplicação desse método, cada ponto de venda pertencerá a um caminhão hipotético que pertencerá a uma das seis regiões e estará definido o dia cujo vendedor deverá visita-lo.

Os dados de entrada para ambos os métodos são: identificação de cada ponto de venda (ID), coordenadas da localização dos pontos (X e Y UTM), volume pedido medido (Caixas), tempo de descarga em cada ponto (segundos) e velocidade média (em m/s). O tratamento dos dados para a obtenção desses parâmetros está descrito após apresentação dos métodos

6.1 Métodos Propostos

6.1.1 Método das Regiões Contínuas

Para início do método são recebidos os dados de cada ponto de venda: localização e volume; o tempo de descarga é definido como uma função do volume (22s/caixa mais 3 a 5 minutos, conforme fornecido pela companhia) e é definida a velocidade média entre pontos, conforme estudado na literatura. Recebe-se também a posição do centro de distribuição.

O primeiro passo do método é calcular para cada ponto de venda a sua distância ao centro de distribuição (CDD).

Em seguida são definidos seis pontos semente que darão origem a seis grupos de pontos. Cada grupo define um dia da semana em que os pontos poderão ser atendidos.

Após isso, todos os pontos de vendas que recebem mais do que uma visita por semana são repetidos exatamente a quantidade de vezes que eles deverão ser visitados.

Constrói-se, então, uma matriz de distâncias dos pontos de venda aos pontos semente.

Os pontos de venda são classificados e ordenados em ordem de prioridade de alocação de acordo com as distâncias às três sementes mais próximas. Os pontos mais óbvios (que estejam próximos de uma semente e distantes das outras demais) são alocados primeiro.

Os pontos são alocados utilizando o método k-means (descrito no Anexo A) somando-se o seu volume ao volume do grupo que inicialmente é nulo. O volume máximo do grupo é definido como o volume total dividido pelo número de grupos. Assim, ao final da alocação, têm-se seis grupo equilibrados em volume.

O segundo passo do método inicia-se agrupando todos os PDVs das regiões contínuas definidas na primeira etapa em caminhões.

Para cada região o modelo é novamente utilizado, mas desta vez o limitante para o balanceamento é a capacidade de volume e tempo de trabalho de cada caminhão.

Para o balanceamento é utilizado o mesmo critério de ordenamento já explicado anteriormente, mas ao invés de serem definidos apenas seis sementes, neste caso é definida a quantidade de sementes necessárias para agrupar todos os pontos em caminhões com a restrição máxima de volume e ocupação em volume do caminhão mais próxima de 100%.

Ao final dessa alocação cada ponto pertencerá a um dos seis grupos e, portanto, estará definido, para cada ponto, o seu dia de atendimento, ou seja, estará definida a programação dos vendedores.

6.1.2 Método das Regiões Descontínuas

Para início do método são recebidos os dados de cada ponto de venda: localização e volume; o tempo de descarga é definido como uma função do volume (22s/caixa + tempo de descarga de 3 a 5 minutos) e é definida a velocidade média entre pontos. Recebe-se também a posição do centro de distribuição, todo o processo da mesma forma como feito no método anterior.

O primeiro passo do método é calcular para cada ponto de venda a sua distância ao centro de distribuição (CDD). Em seguida é definido o número de pontos semente inicial dividindo-se o volume total pela capacidade de um caminhão. Cada ponto semente dará origem a um grupo a ser atendido por um caminhão hipotético, portanto, cada grupo está limitado pela capacidade de um caminhão tanto em volume como em tempo de jornada líquida de trabalho.

Constrói-se, então, uma matriz de distâncias dos pontos de venda aos pontos semente.

Os pontos de venda são classificados e ordenados em ordem de prioridade de alocação de acordo com as distâncias aos pontos sementes e volumes. Os pontos mais óbvios (que estejam próximos de uma semente e distantes das outras demais) e os pontos com maior volume são alocados primeiro.

Os pontos que são atendidos duas vezes por semana são duplicados (sendo que cada ponto recebe o volume que foi efetivamente entregue ou, para o caso do *Planner*, é atribuída a média dos pedidos pelo número de visitas) e não podem estar no mesmo caminhão.

A alocação é feita seguindo o método iterativo k-*means* (descrito no Anexo A). Um ponto poderá ser alocado a um grupo se a sua inclusão não ferir a restrição de capacidade do caminhão, se não ferir a restrição de jornada líquida de 8 horas e 20 minutos do caminhão e se já não há um ponto gêmeo dele no mesmo caminhão. O tempo de rota do caminhão hipotético é calculado após uma roteirização simples utilizando o método do vizinhos mais próximo (descrito no Anexo B).

Ao fim das iterações do k-*means* se todos os pontos forem alocados subtrai-se um caminhão e reinicia-se o processo, objetivando-se sempre buscar uma solução melhor que a melhor solução já calculada. Caso existam pontos não alocados soma-se uma estimativa dos caminhões necessários e reinicia-se o processo. As possíveis soluções são aquelas em que todos os pontos foram alocados. A melhor solução é aquela que utiliza o menor número de caminhões hipotéticos. Neste momento, novos pontos sementes são atribuídos aleatoriamente.

Ao fim do primeiro passo, cada ponto de venda estará alocado em um caminhão hipotético. Neste momento todos os caminhões já estarão equilibrados em relação ao volume e tempo de jornada líquida.

No segundo passo do método, os caminhões são combinados para formarem as seis regiões que definem os dias de atendimento (segunda, terça, quarta, quinta, sexta e sábado). Caminhões que tenham o mesmo ponto que foi duplicado não podem ser alocados no mesmo dia da semana, nem pode-se alocar no mesmo dia mais do que a média de caminhões utilizados para esta semana mais dois caminhões de erro. Por isso

faz-se um rastreamento, para cada caminhão, quais são os caminhões que possuem restrição. A partir disso, agrupa-se os caminhões em seis regiões.

Ao final desse agrupamento cada ponto, que pertence a um caminhão, também pertencerá a um dos seis grupos e, portanto, estará definido, para cada ponto, o seu dia de atendimento, ou seja, estará definida a programação dos vendedores.

Além disso, o método define o número mínimo de caminhões necessários para o atendimento dos pontos considerando as restrições propostas.

A seguir apresenta-se o pseudocódigo da programação utilizada para os dois métodos.

```
Dados de entrada: (ID;X;Y;Volume; Tempo de descarga; Velocidade média)

Determinar sementes iniciais para cada cluster
  Para y =1 até qtdsementes
      Atribuir qtdsementes/2 para os mais próximos
      Atribuir qtdsementes/2 para os mais distantes
  fim

Determinar distâncias dos pdvs para os clusters
  Para y = 1 até qtdcluster
      Para I = 1 até qtdpdvs
          Atribuir distância do pdv para o cluster
      fim
  fim

Determinar sequência de distâncias descrescentes entre cada pdv para todos os clusters
  Para y = 1 até qtdcluster
      Para I = 1 até qtdpdvs
          Definir ordem hierárquica de distância para cada pdv
      fim
  fim

  Estabelecer a preferência de alocação utizando distâncias e prioridades.
  Alocar cada pdv para um cluster utilizando a preferência de alocação e 3 restrições.
      Restrição (1): Máximo volume em cada cluster
      Restrição (2): Máxima jornada de trabalho em cada cluster
      Restrição (3): Qualquer pdv não pode ser visitado mais de uma vez por dia
          Para I = 1 até qtdcluster
              Cada pdv encontrará um cluster para ser alocado
          fim

Salvar resultados
```

```
    Para I = 1 até qtdcluster
        Trajeto linear
        Volume
        Qtdpdv
        Jornada de trabalho
    fim

Repetir o processo iterativamente
    50 vezes; ou

    Até o desvio atingir menos de 3% de ociosidade
```

Determinar o dia da semana para cada cluster

```
    Para j = 1 ate qtpdvs
        Definir todos os gêmeos para cada pdv
    fim

        Alocar cada cluster no dia da semana utilizando a preferência de alocação e duas restrições.
            Restrição (1): Máxima qtdpdv em cada dia – média de pdvs por dia
            Restrição (2): Qualquer pdv não pode ser visitado mais de uma vez por dia
                Alocar

Salvar resultados
```

```
    Para I = 1 to dias da semana
        Salvar o dia da semana para cada pdv
    fim

Repetir o processo iterativamente
    Dez mil vezes; ou
    até encontrar um resultado
```

Saída: (ID; Cluster; Dia da semana; Frequência)

Figura 6.1: Pseudocódigo

6.2 Tratamento de Dados

A fase de tratamento de dados consistiu em separar todas as informações fornecidas pelo *tracking*[5] da Ambev em dados úteis para a produção de resultados nos

[5]*Tracking:* Base de dados coletada durante as rotas, como descrito no item 3.6.

programas (Coordenadas UTM dos PDVs, Volumes entregues em cada dia e PDV, e Tempo necessário para descarga das mercadorias). A base de dados do *tracking* forneceu basicamente as seguintes informações:

- PDVs com entregas;
- Latitude e longitude dos PDVs;
- Datas das entregas;
- Caminhão utilizado nas entregas;
- Dúzias de caixas de bebidas entregues nos PDVs;
- Sequência de entrega realizada;
- Sequência de entrega planejada no *Planner*;
- Tempos de rota, de descarga e total de entrega;

A totalidade desses informações foram utilizadas como dados de entrada nos métodos, excetuando-se apenas os PDVs sem coordenadas definida (menos de 1% do total).

No entanto, para elaboração dos parâmetros logísticos da atual operação de distribuição da empresa mostrou-se necessário uma análise mais detalhada dos dados fornecidos pelo *tracking*. Pois, apesar de grande parte dos dados fornecidos terem sido convertidos em dados úteis para os programas, uma pequena parcela dos dados teve de ser descartada por apresentarem um ou mais dos seguintes problemas:

- PDVs sem coordenadas identificadas;
- Sequência de entregas inteligíveis;
- Tempos de rota, de descarga e total de entrega indefinidos;
- E quantidade de caixas entregues nulas ou muito superiores aos da capacidade dos caminhões utilizados.

Para contornar essas falhas de informações o grupo optou em retirar essas entregas, para que elas não inviabilizassem a utilização dos programas.

Durante o tratamento de dados foram estudados os meses de dezembro de 2012 e abril de 2013, meses tomados como representativos dos períodos de alta e baixa demanda, respectivamente. No mês de dezembro foram realizadas 18.972 entregas, das quais 3.865 (aproximadamente 20%) foram desconsideradas pelos motivos apresentados acima. O mesmo ocorreu no mês de abril onde foram feitas 17.059 entregas e foram desconsideradas 2.898 (aproximadamente 17%).

6.2.1 Coordenadas UTM dos PDVs

Hoje a Ambev mantém o registro da localização dos pontos de venda através do *Tracking*, que armazena a Latitude e Longitude de cada PDV visitado. Como o cálculo de distância entre PDVs através da Latitude e Longitude possui um nível de complexidade elevado, o grupo optou em utilizar essa informação crucial através do sistema de coordenadas cartesianas bidimensional conhecido por UTM (*Universal Transversa de Mercator*). Para fazer essa conversão, foi necessário a adoção de um elipsoide de referência que se aproxima do geoide que é a Terra. O elipsoide escolhido foi o WGS84 (*World Geodetic System*, versão 1984) pela sua acessibilidade na transformação das coordenadas.

6.2.2 Volume Entregue

O registro da quantidade de mercadoria ou produto que está sendo transportado pelos caminhões até os clientes é hoje registrado no *Tracking* em número de dúzias de caixas. Como a informação da capacidade dos caminhões foi fornecida em caixas, durante o tratamento de dados foi necessário dividir essa informação do *Tracking* por 2, e obter o volume entregue em caixas, e não em dúzias de caixas.

6.2.3 Tempo de Descarga

Com o intuito de calcular o tempo total de rota dos caminhões tornou-se necessário como dado de entrada nos programas o tempo característico que cada PDV necessita para retirar a mercadorias dos caminhões e transferi-las para um local seguro e de domínio do cliente. O fornecimento desse nível de informação através do *Tracking* se demonstrou compreensivamente ineficaz, devido a variabilidade da situação e condição de entrega em cada dia da semana. Pontos de Venda que apresentavam menos de 5 minutos como tempo de descarga em um dia específico, apresentavam por ora de 10 à 20 minutos esporadicamente de tempo de descarga. Com o intuito de evitar essa distorção, uma vez que ela não pode ser determinada exatamente por um padrão, foi incentivado pela Ambev a adoção de uma padronização dessa informação com base na quantidade de caixas a serem entregues, e que pode ser visualizada na seguinte equação:

$$Tempo\ de\ Descarga = (nº\ de\ caixas\ a\ serem\ entregues) \times 22\ segundos + (entre\ 3\ à\ 5\ minutos)$$

7 RESULTADOS E COMPARAÇÕES

A seguir apresentam-se os resultados obtidos na tentativa de resolver o problema proposto. Para a obtenção dos resultados, o modelo foi implementado no *software* Microsoft Excel® através da utilização do pacote de programação do *Visual Basic for Applications* (VBA). Este foi escolhido por ser um *software* altamente utilizado e de fácil manuseio para a resolução de problemas de programação. Além disso, os membros do grupo do trabalho já possuíam familiaridade com a utilização do *software*.

Todos os resultados foram obtidos utilizando dois *hardwares* diferentes para processamento. O primeiro foi um processador Intel® Core TM I5, 2.60GHz e 4GB de memória RAM DDR3 SDRAM. O Segundo foi Intel® Xeon® CPU E5-2420 0 @ 1.90GHz, 32GB de memória RAM, 2 processadores, sistema operacional 64 bits.

Para o primeiro *hardware* o tempo de processamento foi em média de 15min por iteração para a alocação das regiões descontínuas e 5s para cada iteração para a alocação no dia da semana. Já para o segundo *hardware*, o tempo foi em média de 5min por iteração para a alocação das regiões descontínuas e 1,2s para cada iteração para a alocação do dia da semana.

Com o objetivo de programar a visita dos vendedores os métodos apresentados no Capítulo 6 foram aplicados utilizando os dados do histórico de volumes. Para que fosse possível avaliar a qualidade da solução gerada por cada método, eles também foram aplicados para os meses representativos já descritos anteriormente.

A seguir apresentam-se os resultados das comparações e o resultado do planejamento proposto com base no histórico de volumes.

7.1 Resultados Comparativos entre os Métodos e os Meses Representativos

Como já descrito, os métodos propostos foram aplicados para os dois meses escolhidos. Como no *PLANNER* a programação é realizada para uma semana, a comparação dos resultados dos métodos com o realizado foi feita para todas as semanas de Abril e Dezembro. Para o efeito de comparação, alguns parâmetros foram utilizados com o intuito de expor as diferenças encontradas dos resultados entre os métodos e os meses já entregues. Os parâmetros escolhidos seguem abaixo.

- Número de caminhões utilizados por semana;
- Ocupação média dos caminhões (% em volume máximo de capacidade de cada caminhão);
- Quantidade média de PDVs por caminhão (em uma rota);

- Tempo médio de rota dos caminhões;
- Distância média percorrida pelos caminhões.

O parâmetro do número de caminhões representa a soma da quantidade de caminhões utilizados em uma semana para a entrega dos produtos. A ocupação média dos caminhões calculada se refere à porcentagem que o volume ocupa da capacidade do caminhão (420 caixas para caminhões de 10 paletes e 200 caixas para caminhões de 6 paletes).

A quantidade de PDVs por caminhão representa a dispersão geográfica da solução. Quanto mais pontos são visitados por caminhão, mais compacta é a solução. Consequentemente, quanto menos pontos são visitados, mais dispersa é a solução. Como uma das restrições para o método é a jornada líquida, pontos dispersos visitados no mesmo caminhão geram grandes distâncias a serem percorridas o que acarreta em jornadas líquidas mais longas. Sendo assim, rotas mais longas não poderão entregar em uma maior quantidade de pontos, diminuindo a quantidade de PDVs por caminhão.

O tempo médio de rota de um caminhão foi calculado a partir das distâncias lineares entre os pontos de venda pertencentes ao mesmo e uma estimativa de velocidade média de 20 km/h, baseada em pesquisas, conhecimento da região e validação por parte da empresa. Foi feita também uma análise de sensibilidade do modelo, utilizando uma velocidade média de 10 km/h para se explorar a eficiência dos métodos em um cenário pessimista.

A distância média percorrida por caminhão foi calculada a partir das distâncias lineares entre os PDVs, após a roteirização simples da entrega pelo método do vizinho mais próximo (descrito no Anexo B), com o objetivo de se aproximar à realidade.

Os resultados dos dois métodos propostos e a comparação com a operação de Abril segue nas Tabela 7.1 e 7.2 abaixo.

Tabela 7.1 – Comparação dos Resultados para o Mês de Abril – Semanas 1 e 2

Comparação de Resultados	Abril					
	semana 1			semana 2		
	Operação	Arrastão	Caminhão	Operação	Arrastão	Caminhão
N° Caminhões por semana	182	133	132	186	145	142
Ocupação Caminhão (% volume em caixas)	58.7%	94.9%	97.3%	77.7%	95.6%	97.9%
No PDVs/Caminhão	20	29	28	22	31	29
Tempo Rota (h)	8:43	6:00	5:50	8:59	6:10	5:50
Distância / Rota (km)	39.4	32.8	29.9	40.8	34.1	32.1

Tabela 7.2 - Comparação dos Resultados para o Mês de Abril – Semanas 3 e 4

Comparação de Resultados	Abril					
	semana 3			semana 4		
	Operação	Arrastão	Caminhão	Operação	Arrastão	Caminhão
N° Caminhões por semana	174	127	124	180	129	125
Ocupação Caminhão (% volume em caixas)	66.1%	95.6%	98.2%	61.6%	93.7%	97.7%
No PDVs/Caminhão	21	32	30	24	35	34
Tempo Rota (h)	8:30	6:05	5:50	8:17	6:25	6:10
Distância / Rota (km)	37.7	32.4	31.2	32.4	34.3	35.4

Observando os resultados obtidos para o mês de abril verificam-se as diferenças nos parâmetros entre a operação e os métodos propostos. Houve uma redução média de cerca de 27% no número de caminhões contabilizando todas as semanas do mês de abril. A ocupação média do caminhão apresentou um acréscimo de 47% em média, elevando-a a mais de 90%.

Outro parâmetro que demonstrou aumento foi o número médio de pontos de venda por caminhão, próximo de 43%. O tempo médio de rota foi reduzido, em média, 30% e a distância média percorrida por cada caminhão também houve uma redução, cerca de 12%. Nota-se que ambos os métodos apresentaram parâmetros bastante similares, mas com uma ligeira vantagem para o método "Caminhão".

Os resultados dos dois métodos propostos e a comparação com a operação de Dezembro segue na Tabela 7.3 e na Tabela 7.4 abaixo.

Tabela 7.3 - Comparação dos Resultados para o Mês de Dezembro – Semanas 1 e 2

Comparação de Resultados	Dezembro					
	semana 1			semana 2		
	Operação	Arrastão	Caminhão	Operação	Arrastão	Caminhão
N° Caminhões por semana	227	184	181	226	185	182
Ocupação Caminhão (% volume em caixas)	75.0%	97.9%	99.4%	77.7%	97.8%	99.5%
No PDVs/Caminhão	21	29	28	22	28	27
Tempo Rota (h)	9:02	5:10	5:00	7:59	5:05	5:00
Distância / Rota (km)	51.83	34.5	31.2	49.84	31.7	29.0

Tabela 7.4 - Comparação dos Resultados para o Mês de Dezembro – Semanas 3 e 4

Comparação de Resultados	Dezembro					
	semana 3			semana 4		
	Operação	Arrastão	Caminhão	Operação	Arrastão	Caminhão
N° Caminhões por semana	228	174	172	219	166	164
Ocupação Caminhão (% volume em caixas)	70.9%	97.9%	99.3%	69.6%	98.0%	99.3%
No PDVs/Caminhão	21	30	28	18	20	19
Tempo Rota (h)	7:55	5:10	5:00	6:35	4:40	4:30
Distância / Rota (km)	48.15	31.7	28.9	35.45	30.1	27.7

Verificando os resultados do mês de dezembro, nota-se a mesma tendência vista no mês de abril, uma considerável diferença entre a operação e os métodos propostos. Houve uma redução média de 22% na quantidade de caminhões utilizada, contabilizando todas as semanas de dezembro. A ocupação média dos caminhões

apresentou um acréscimo de 35% e o número de PDVs por caminhão aumentou cerca de 27% em média. O tempo de rota médio por caminhão foi reduzido em 37% enquanto a distância média percorrida por cada caminhão reduziu 32%.

Se faz necessário comentar a correlação entre todos os parâmetros utilizados acima. Constata-se que o agrupamento de pontos de venda de forma compacta, como proposto nos métodos, faz com que a distância percorrida pelo caminhão diminua, reduzindo assim seu tempo de rota e pode haver um consequente acréscimo no número de entregas por caminhão, aumentando suas ocupações e por fim, diminuir o número de veículos utilizados.

Finalmente, é importante ressaltar que mesmo os dois métodos apresentando resultados semelhantes, todos os parâmetros medidos para o método Caminhão foram melhores nesta calibragem do modelo. Destaca-se também que esta solução, ao contrário da do Arrastão, gera visitas espalhadas geograficamente por todo o território, podendo ser mais próxima do ideal praticado atualmente pela área comercial da companhia. Para cada método e para a operação, as coordenadas e os dias de atendimento de cada PDV da primeira semana de abril foram plotados em um mapa da região de Guarulhos.

A Figura 7.1 mostra como os pontos foram atendidos pela operação. Observa-se que para cada dia da semana, os pontos estão distribuídos por toda a cidade em regiões descontínuas. Na Figura 7.2 pode ser observado que essa situação se repete no resultado proposto pelo método Caminhão.

Na Figura 7.3 que mostra o resultado proposto pelo Arrastão, nota-se que para cada dia da semana, apenas uma parcela da cidade é atendida.

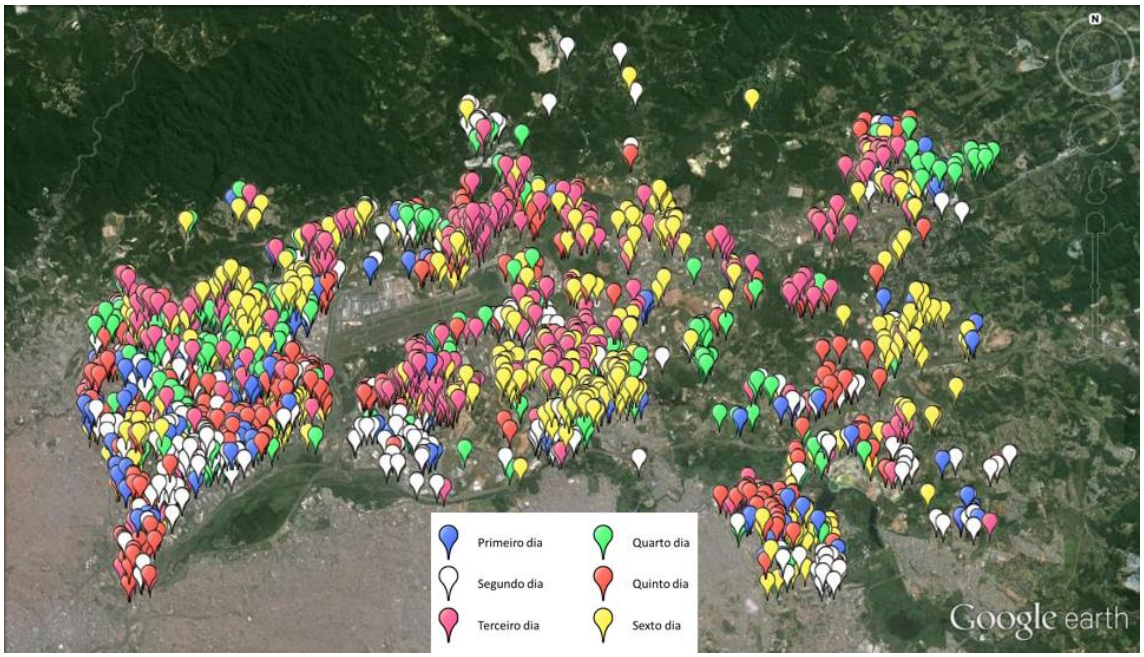

Figura 7.1: Operação – Abril 2013 – Semana 1

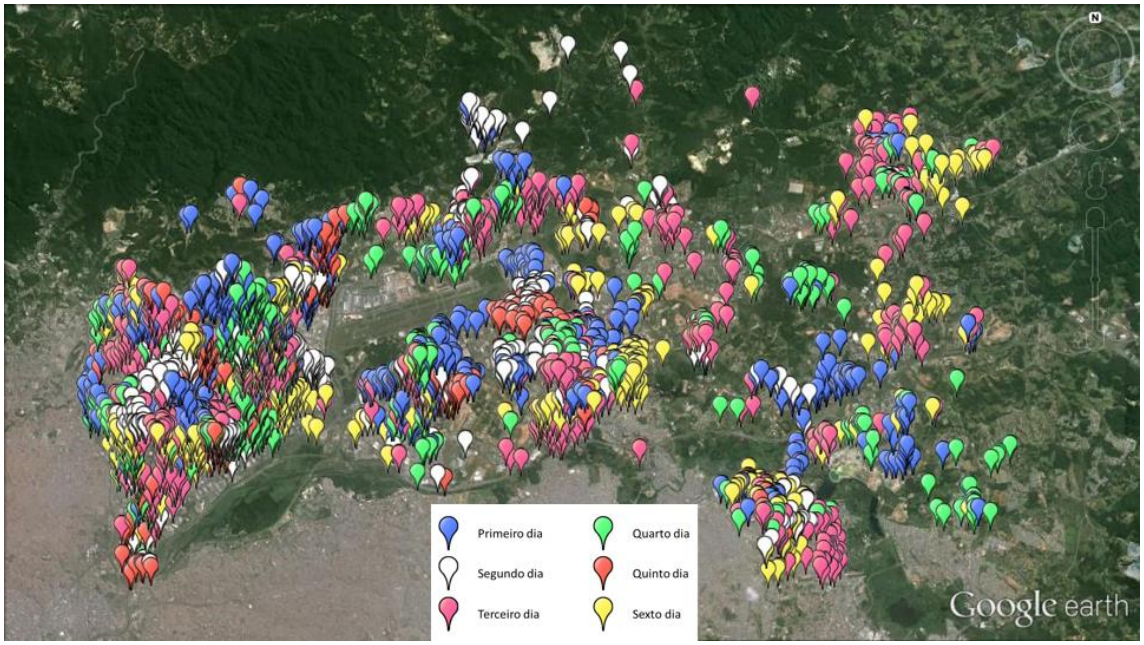

Figura 7.2: "Caminhão" – Abril 2013 – Semana 1

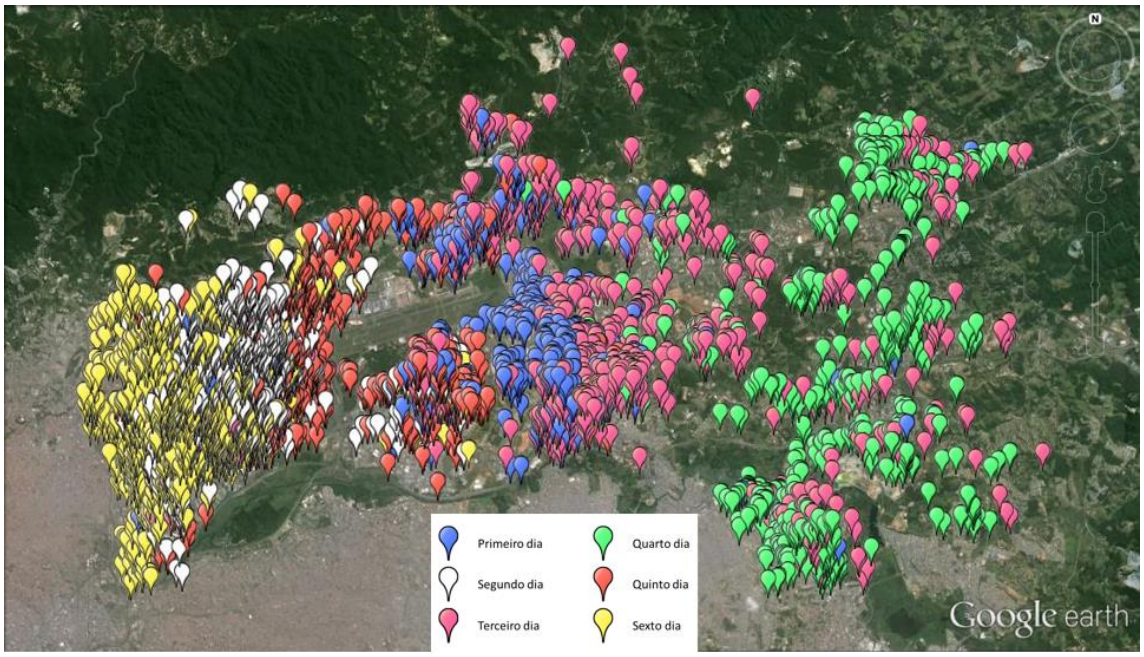

Figura 7.3: "Arrastão" – Abril 2013 – Semana 1

A Figura 7.4 e a Figura 7.5 ilustram como seria o primeiro dia de atendimento do mês de abril com base no caminhão e no arrastão, respectivamente. Cada ícone distinto representa uma região atendida por um caminhão. Pode-se constatar que os dois métodos formam regiões com pontos compactos o que reflete nos parâmetros logísticos apresentados na Tabela 7.1.

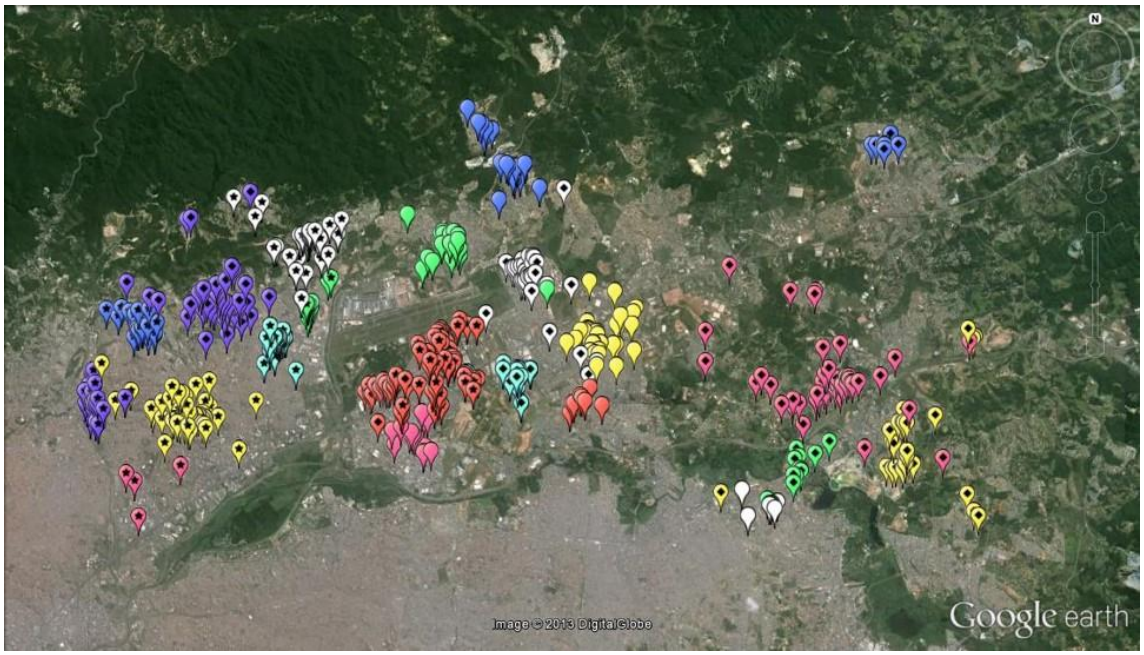

Figura 7.4: "Caminhão" – Abril 2013 – Semana 1 – Dia 1

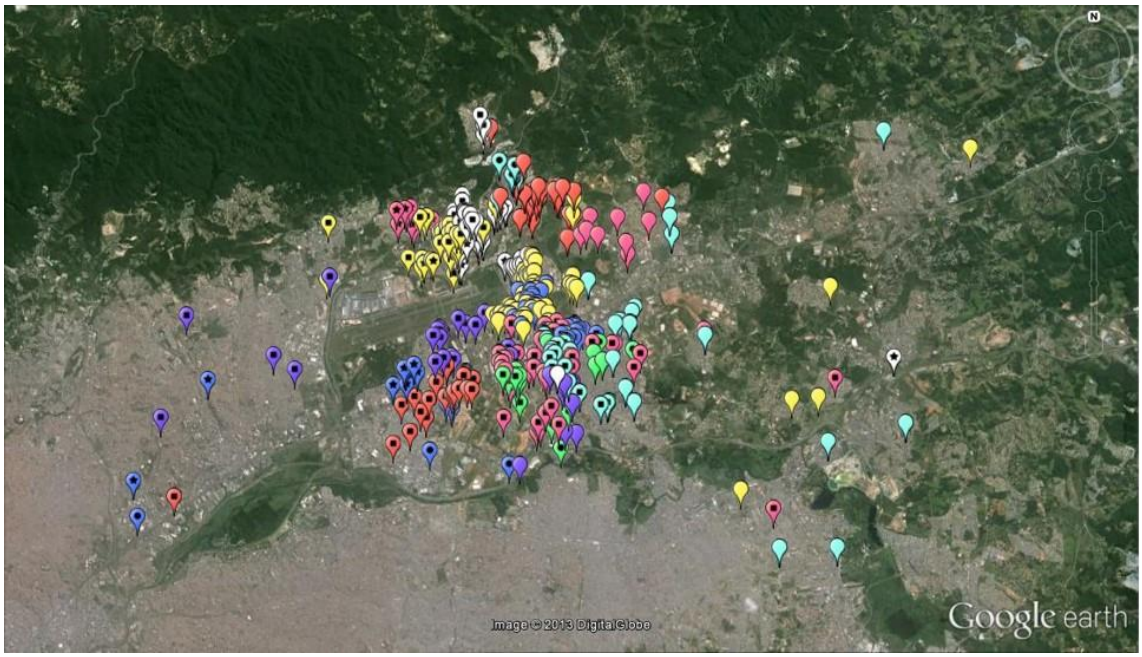

Figura 7.5: "Arrastão" – Abril 2013 – Semana 1 – Dia 1

Vale ressaltar que por mais compacta que seja a solução proposta pelo "Arrastão", sempre haverá entregas com frequência superior a duas vezes, forçando um mesmo ponto em uma mesma área do mapa ser visitado em dias diferentes. Este fato piora consideravelmente os níveis de dispersão geográfica desta solução.

Conclui-se, então, que para o cenário estudado o método Caminhão é o mais indicado.

7.2 Resultado do Planejamento Proposto – *PLANNER*

Para se fazer o *PLANNER*, foram utilizados os dados de volume dos anos de 2011 e 2012 fornecidos pela empresa para o CDD de Guarulhos. Como já foi abordado no Capítulo 4.3 - Análise da operação, a operação é melhor definida se dividida em meses característicos; portanto, foi proposta a elaboração de dois planejamentos por ano, um para o mês de maior demanda, Dezembro, e outro para o restante dos meses.

Os planejamentos foram executados com base em todos os PDVs que foram entregues em pelo menos um mês dos últimos dois anos. Além disso, baseando-se no Decreto Nº 18.129 que dispõe sobre a circulação de veículos de carga no centro comercial de Guarulhos, foi definida a zona de restrição para caminhões de 10 paletes (Figura 7.6); com isso, para essa região foram utilizados VUCs no planejamento da entrega de produtos. Ao todo a região contempla pouco mais de 110 pontos de vendas ativos.

Figura 7.6: Zona de restrição – Veículos de carga - Guarulhos

Na Tabela 7.5 abaixo seguem os resultados obtidos para o planejamento de Dezembro segundo as duas metodologias estudadas.Tabela 7.5: Resultados *PLANNER* - Dezembro

Resultados Planner	Dezembro			
	Caminhão		Arrastão	
	VUCs	Veículos 10 paletes	VUCs	Veículos 10 paletes
N° Caminhões por semana	5	288	5	292
Ocupação Caminhão (% volume em caixas)	98.7%	98.7%	98.7%	97.2%
No PDVs/Caminhão	23	24	23	25
Tempo Rota (h)	4:30	5:30	4:30	5:35
Distância / Rota (km)	32.3	27.5	32.3	28.6

Observa-se que os resultados encontrados para o planejamento de vendas de Dezembro segue o mesmo padrão das comparações do item 7.1, com os parâmetros das duas metodologias similares e uma pequena vantagem para o método das regiões descontínuas (“Caminhão”). Na Tabela 7.6 abaixo, seguem os resultados do planejamento para o restante do ano.

Tabela 7.6: Resultados *PLANNER* – Restante do ano

Resultados Planner	Restante do ano			
	Caminhão		Arrastão	
	VUCs	Veículos 10 paletes	VUCs	Veículos 10 paletes
N° Caminhões por semana	5	183	5	188
Ocupação Caminhão (% volume em caixas)	95.4%	97.1%	95.4%	94.1%
No PDVs/Caminhão	24	32	24	31
Tempo Rota (h)	3:40	6:10	3:40	6:10
Distância / Rota (km)	24	32.3	24	33.3

Analisando as duas tabelas de planejamento e comparando-as com os resultados do item 7.1, observa-se um maior número de caminhões, isso se deve ao fato do planejamento levar em consideração todos os PDVs que foram atendidos ao menos um mês nos últimos dois anos, como explicado anteriormente. Os dados do item 3.6 foram retirados do *tracking*, onde pode não haver todos os pontos de venda. Os resultados dos dois *PLANNERS* com o dia da semana que cada PDV encontra-se no Anexo C para as duas metodologias propostas no escopo do trabalho.

8 MELHORIAS PROPOSTAS

Após a análise dos resultados foi-se capaz de observar as variáveis que mais impactavam o modelo proposto. Sendo assim, sugere-se uma série de melhorias no capítulo a seguir.

8.1 Criação de uma Malha Viária para o Cálculo de Distâncias Reais

O modelo utilizado leva em consideração as distâncias percorridas para uma série de cálculos do algoritmo proposto. As principais variáveis que ele impacta são: A distância percorrida por cada caminhão e o tempo utilizado em cada rota.

Sendo assim, a substituição do modelo inicial de distâncias lineares por distâncias reais poderá gerar soluções mais próximas da realidade.

8.2 Aperfeiçoamento da Velocidade Utilizada para cada PDV

A velocidade média de deslocamento entre um PDV e o próximo ponto a ser entregue é um dado de entrada do programa proposto. Esta variável impacta principalmente o tempo utilizado em cada rota.

Para os resultados apresentados, como já descrito, foi utilizada uma velocidade média de 20km/h para o calculo dos tempos de entrega. Foi feita uma análise de sensibilidade dos modelos em relação à velocidade, utilizando o valor de 10km/h baseado nos dados do *tracking* e segue abaixo na Tabela 8.1 de comparação dos resultados com as duas velocidades citadas para uma das semanas estudadas.

Tabela 8.1 – Comparação semana 1 - velocidades

Comparação de Resultados	Abril - semana 1				
	velocidade	20 km/h		10 km/h	
	Operação	Arrastão	Caminhão	Arrastão	Caminhão
N° Caminhões por semana	182	133	132	144	148
Ocupação Caminhão (% volume em caixas)	58.7%	94.9%	97.3%	88.4%	86.3%
No PDVs/Caminhão	20	29	28	27	26
Tempo Rota (h)	8:43	6:00	5:50	6:40	7:05
Distância / Rota (km)	39.4	32.8	29.9	31.5	33.9

Observa-se que a melhoria com relação à operação para os dois métodos piora, mas ainda assim é significamente melhor do que a operação. Acredita-se que a personalização dessa velocidade para cada PDV, por meio de pesquisas de campo ou

auxílio de softwares especializados como Waze ou similares, pode aperfeiçoar o modelo.

8.3 Refinamento da Solução através de Algoritmos Metaheurísticos – Busca Local

Após a plotagem das soluções, observou-se que alguns pontos poderiam ser substituídos através da utilização de busca local, como pode ser visto nos apontamento da Figura 8.1 abaixo.

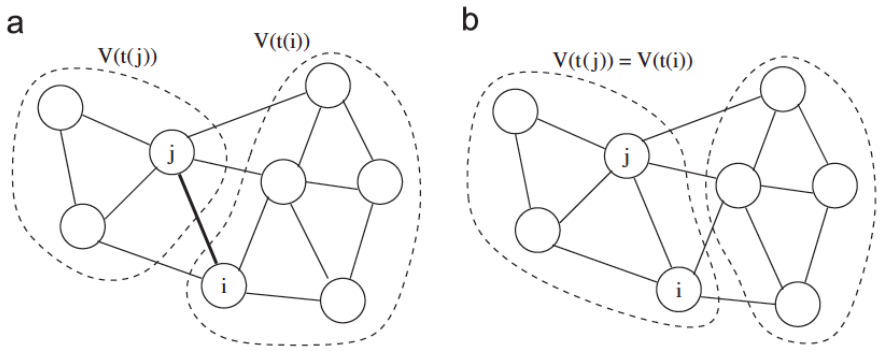

Figura 8.1: Busca Local

Fonte: Ríos-Mercado R., Fernández

Busca local é a troca de PDVs entre diferentes clusters (caminhões) próximos entre si, buscando uma solução melhor do que a solução inicial. Nota-se na Figura 8.2 que é a plotagem de uma das soluções, os pontos que candidatos à busca local.

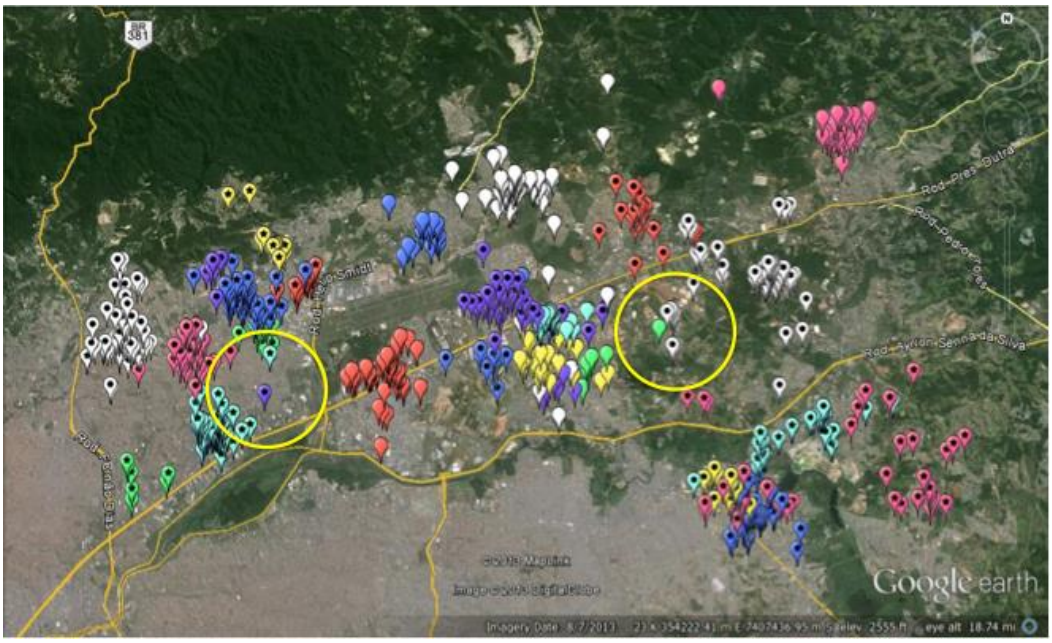

Figura 8.2: Situação em que Pode ser Aplicada a Busca Local

8.4 Restrição de Quantidade de Pontos por Caminhão

Os resultados foram calculados com objetivo de maximizar a ocupação dos caminhões tendo apenas como restrição a jornada líquida de trabalho de cada rota.

Nota-se entretanto que parte dos resultados possuíam caminhões hipotéticos com até 65 PDVs em uma mesma rota. Provavelmente a inserção de restrição da quantidade de pontos em uma mesma rota poderá afetar substancialmente os resultados.

8.5 Restrição de Entregas em dias Seguidos

Observa-se que considerando apenas a restrição de que os mesmos pontos de vendas não poderiam ser entregues no mesmo dia, as soluções geradas apresentam a possibilidade do mesmo ponto receber entregas em dias seguidos.

Entretanto, nota-se que em algumas situações onde o ponto recebe entregas mais do que três vezes por semana este fato é pouco relevante.

O acréscimo desta restrição poderá afetar a quantidade de caminhões e provavelmente diminuirá a ocupação média da solução.

9 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A programação dos vendedores de empresas de bebidas impacta diretamente na eficiência da distribuição dos produtos; devido, principalmente, a prática comum do setor em entregar as encomendas no dia seguinte à venda. Uma programação que não considera a dispersão dos pontos atendidos pode gerar rotas longas que necessitem de muitos caminhões; já uma programação dos vendedores considerando o planejamento de distribuição pode levar a rotas mais curtas e que necessitem de menos caminhões.

A atual programação dos vendedores feita, anualmente, pela Ambev em um processo denominado *PLANNER* segmenta os vendedores conforme o tipo de comércio. O impacto dessa programação na distribuição tem levado à baixa ocupação dos caminhões de entrega e à rotas longas, devido a dispersão dos pontos atendidos pelos vendedores em um mesmo dia.

Foram propostos dois métodos de agrupamento dos pontos de venda em regiões compactas; a partir, das quais, pode-se fazer a programação dos vendedores. Os métodos são denominados: Método das Regiões Contínuas (“Arrastão”) e Método das Regiões Descontínuas (“Caminhão”).

Os resultados obtidos por cada método foram comparados com os dados da operação de dois meses: abril e dezembro, meses representativos de um ano. Calculou-se uma economia da quantidade de caminhões utilizados de 26% para o método do arrastão e 28% para o método caminhão.

Foram sugeridas melhorias para a metodologia tais como: a criação de uma malha viária para cálculo de distâncias mais precisas e implementação de algoritmos de busca local; a serem estudas em trabalhos futuros.

10 BIBLIOGRAFIA

Yu, J., Hoff, R., Optimal Routing and Assignment of Consultants for Energy Education, *Interfaces*, 2013.

Bergey P., Rasgdale C., Hoskote M. A decision support system for the electrical power districting problem.*Decision Support Systems, 36:1-17,* 2003.

Blakeley F., Bozkaya B., Cao B., Hall W., Knolmajer J. Optimizing Periodic Maintenance Operations for Schindler Elevator Corporation, *INFORMS, 33(1):67-69,* 2003.

Mulder S., Wunsch D. Million city traveling salesman problem solution by divide and conquer clustering with adaptive resonance neural networks. *Neural Networks, 16:827-832,* 2003.

Haugland D., Ho S., Laporte G. Designing delivery districts for the vehicle routing problem with stochastic demands. *European Journal of Operational Research, 180:997-1010,* 2007.

Redmond S., Heneghan C. A method for initialising the K-means clustering algorithm using kd-trees.*Pattern Recognition Letters, 28:965-973,* 2007.

Ríos-Mercado R., Fernández E. A reactive GRASP for a commercial territory design problem with multiple balancing requirements.*Computers & Operations Research, 36:755-776,* 2009.

Pereira F., Figueira J., Mousseau V., Roy B. Comparing two territory partitions in districiting problems: Indices and practical issues. *Socio-Economic Planning Sciences, 43:72-88,* 2009.

Schaeffer S. Graph clustering.*Computer Science Review, 1:27-64,* 2007

Chao D., Ye C., Miao H. Two-Level Genetic Algorithm for Clustered Traveling Salesman Problem with Application in Large Scale TSPs.*Tsinghua Science and Technology, 12(4):459-465,* 2007.

Chaves A., Lorena L. Clustering Search Algorithm for the Capacitated Centred Clustering Problem.

Beasley J. Route First - Cluster Second Methods for Vehicle Routing.*OMEGA The Int. Jl of MgmtSci, II(4):403-408, 1983.*

Ricca F., Simeone B. Local search algorithms for political districting *European Journal of Operational Research, 189:1409-1426,* 2008

Kant G., Jacks M. Aantjes C. Coca-cola Enterprises Optimizes Vehicle Routes for Efficient Products Delivery, *Interfaces, 38(1):40-50,* 2008.

Jain A., Murty M., Flynn P. Data clustering: A review. ACM Comput. *Surveys, 31(3):264-323, 1999.*

Cunha C. Aspectos práticos da aplicação de modelos de roteirização de veículos e problemas reais, *Revista Transportes da ANPET - Associação Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes, 8(2):51-74,* 2000.

Kaufman, L., Rousseeuw P. Finding Groups in Data: An Introduction to Cluster Analisys. Wiley Series in Probability and Mathematical Statistics,1990

Mastrogiannis N, Giannikos I, Boutsinas B (2011) Solving the set covering problem based on a new clustering heuristic. *Presentation, Department of Business Administration, University of Patras, Greece.*

Toregas C, Swain R, ReVelle C, Bergman L (1971) The location of emergency service facilities.

ANEXO A – K-*Means*

Essencialmente o trabalho está focado em determinar um método ótimo para formar grupos de pontos de vendas (PDVs) a serem visitados pelos vendedores. Para tanto, o grupo identificou duas maneiras de solucionar o problema proposto pelo trabalho: através de algoritmos exatos, que garantem a obtenção da solução exata e ótima; ou através de algoritmos heurísticos, técnica que procura boas soluções (próximas da otimalidade). A desvantagem em utilizar algoritmos exatos é que na maioria dos problemas complexos ele pode gastar um tempo proibitivo para gerar uma solução viável. Já a grande desvantagem dos algoritmos heurísticos reside na dificuldade de escapar de ótimos locais, ou seja, garantir que a solução encontrada é ou está próxima da solução ótima. Essa desvantagem nos algoritmos heurísticos deu origem à uma outra metodologia, chamada de metaheurística, que possui ferramentas que possibilitam sair destes ótimos locais, permitindo a busca em regiões mais promissoras.

Pelo problema da Ambev ser complexo e com grande número de variáveis (grande número de PDVs, Jornada de Trabalho limitada, Capacidade de Transporte limitada, Janela de Entrega, e etc.) optou-se por utilizar o algoritmo heurístico k-*means* para achar uma solução próxima da ótima, e sugeriu como melhoria para trabalhos futuros a exploração do algoritmo metaheurístico chamado de GRASP, para refinar as soluções encontradas.

O algoritmo heurístico chamado de "k-*means*" tem como princípio básico agrupar pontos que estão geograficamente próximos. Para tanto, o algoritmo executa 5 passos:

- Primeiro Passo: Entrar com a informação de quantos grupos devem ser formados;
- Segundo Passo: Escolher aleatoriamente os centroides iniciais de cada grupo;
- Terceiro Passo: Calcular a distância de todos os pontos em relação a cada centroide e classificá-los pertencente ao respectivo centroide de menor distância;
- Quarto Passo: Reposicionar os centroides através da média dos pontos alocados nele;
- Quinto Passo: Refazer o passo 3 até que os centroides se estabilizarem.

As figuras A.1 e A.2 detalham o que foi escrito até aqui:

Algorithm 1. *K*-means Algorithm

(1) Initialise K centre locations $(\boldsymbol{c}_1, \ldots, \boldsymbol{c}_K)$.
(2) Assign each $\boldsymbol{x}_i$ to its nearest cluster centre $\boldsymbol{c}_k$.
(3) Update each cluster centre $\boldsymbol{c}_k$ as the mean of all $\boldsymbol{x}_i$ that have been assigned as closest to it.
(4) Calculate $D = \sum_{i=1}^{n} [\min_{k=(1\ldots K)} d(\boldsymbol{x}_i, \boldsymbol{c}_k)]^2$.
(5) If the value of D has converged, then return $(\boldsymbol{c}_1, \ldots, \boldsymbol{c}_K)$; else go to Step 2.

Figura A.1 – Algoritmo do K-means (Fonte: Redmond e Heneghan [2007], A method for initializing the K-means clustering algorithm using kd-trees.)

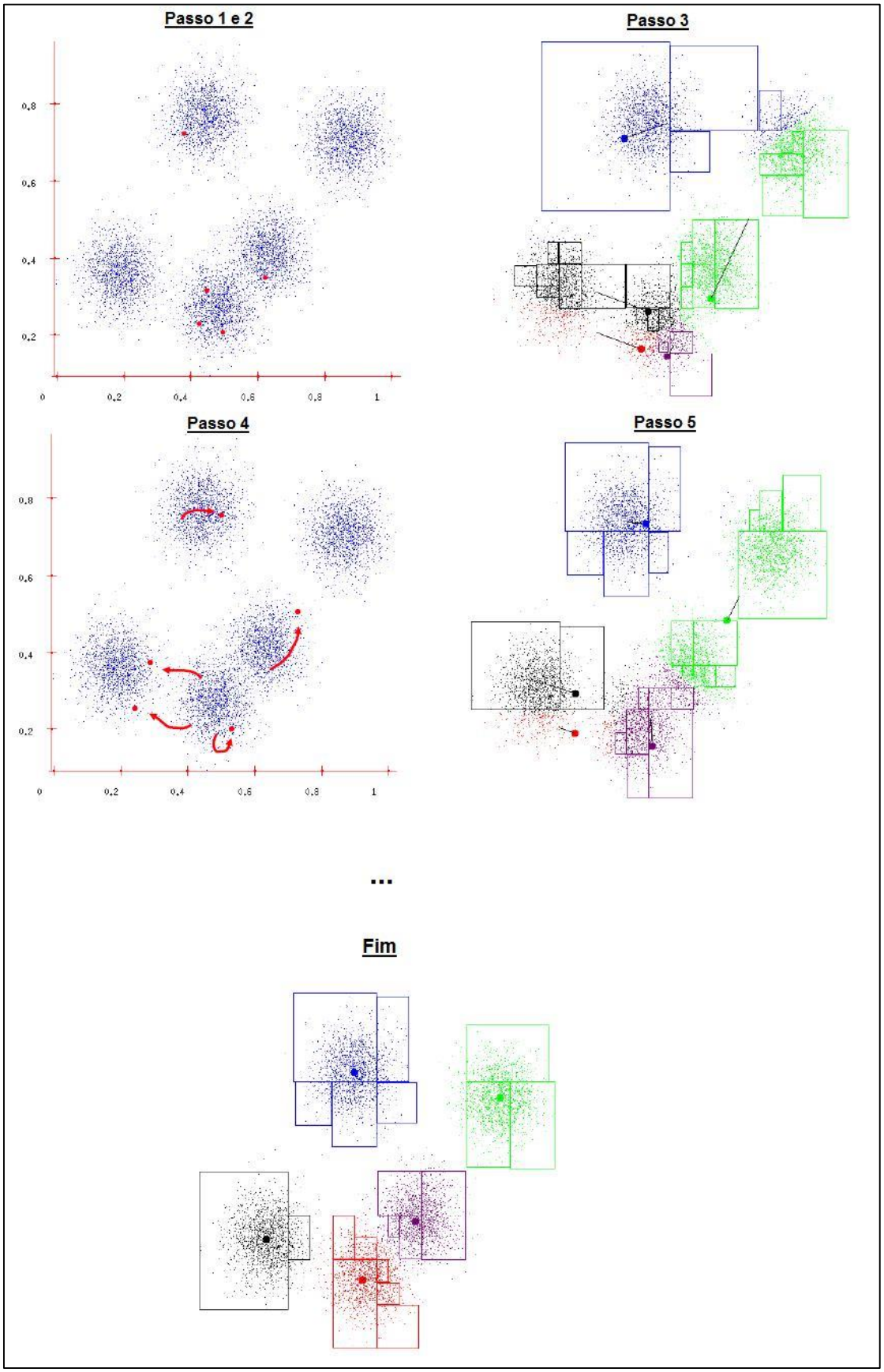

Figura A.2 – Ilustração da execução do K-*means*.

ANEXO B – Vizinho Mais Próximo

Outro algoritmo heurístico utilizado no presente trabalho foi o algoritmo conhecido por “Vizinho mais Próximo”. Esse algoritmo foi utilizado com a finalidade “roteirizar” o conjunto de PDVs agrupados pelos dois métodos desenvolvidos no trabalho (Método das Regiões Descontínuas e Método das Regiões Contínuas), para obter uma estimativa da distância percorrida pelos caminhões dentro década agrupamento. Entende-se com a palavra “roteirizar” solucionar um problema do tipo Caixeiro Viajante, ou seja, definir uma sequência de PDVs a serem visitados, partindo do CDD; e adicionar à rota o ponto de venda mais próximo do último PDV adicionado. A figura B.1 ilustra de maneira didática o funcionamento do algoritmo “Vizinho Mais Próximo”.

Algoritmo do Vizinho Mais Próximo:

- Primeiro Passo: Determinar o ponto de venda mais próximo ao Centro de Distribuição Direta;
- Segundo Passo: Selecionar outro ponto de venda que esteja o mais próximo do último ponto adicionado;
- Terceiro Passo: Verificar se a capacidade do veículo não foi ultrapassada. Caso negativo, incluir o ponto selecionado no roteiro e retornar ao Segundo Passo. Caso afirmativo, parar.

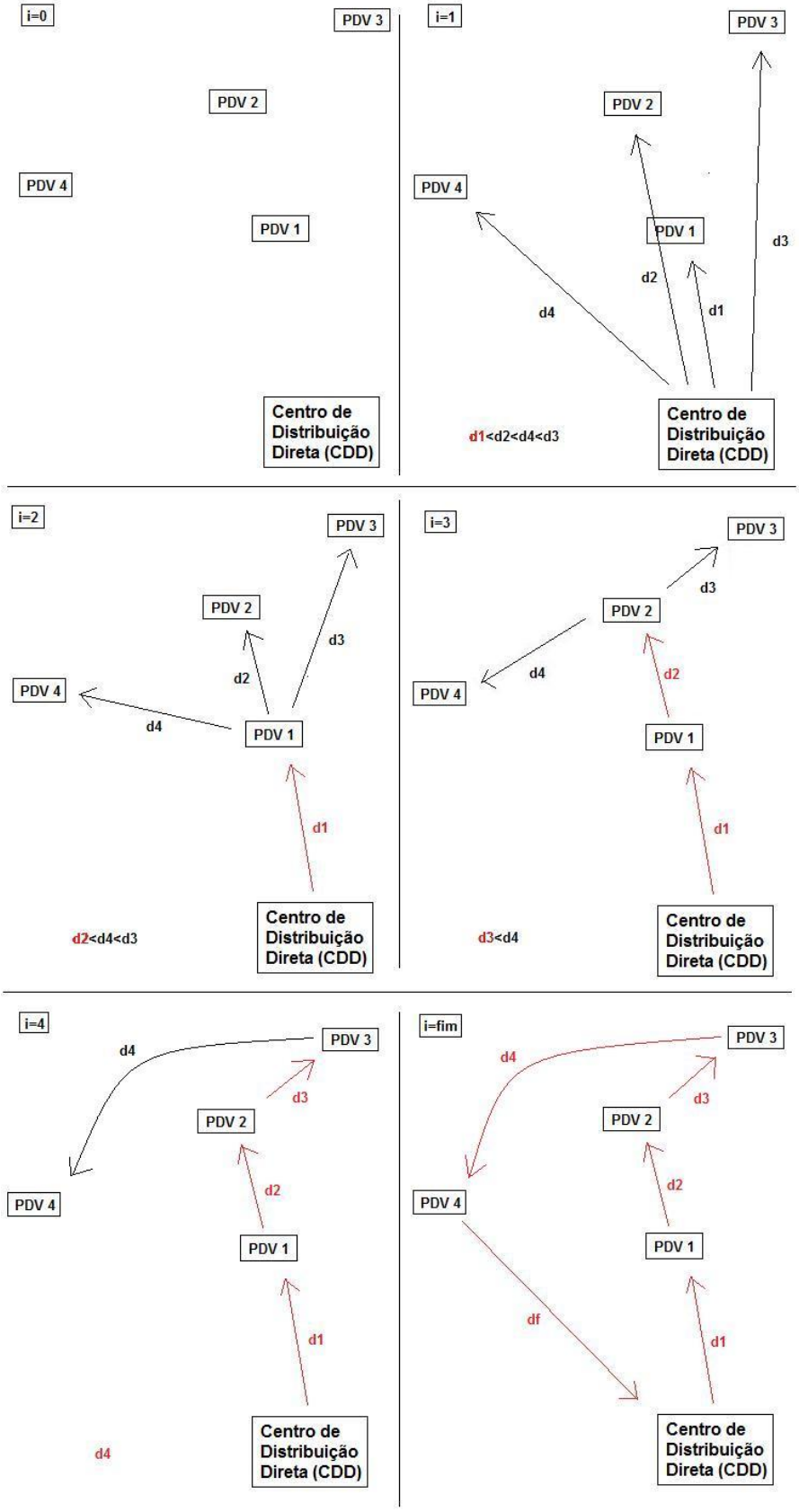

Figura B.1 – Ilustração da Execução do "Vizinho Mais Próximo"

ANEXO C – Resultados *PLANNER*