

ALESSANDRO HIDEAKI AKITA  
ALLAN COHEN LUSOR  
ARTHUR PADOVANI MARÇON  
LUIZ AUGUSTO DE SOUZA CAMPOS JUNIOR

**Análise de Alternativas de Distribuição para o Comércio Eletrônico**

Trabalho de Formatura do Curso de  
Engenharia Civil apresentado à Escola  
Politécnica da Universidade de São  
Paulo

**São Paulo**  
**2016**

ALESSANDRO HIDEAKI AKITA  
ALLAN COHEN LUSOR  
ARTHUR PADOVANI MARÇON  
LUIZ AUGUSTO DE SOUZA CAMPOS JUNIOR

**Análise de Alternativas de Distribuição para o Comércio Eletrônico**

Trabalho de Formatura do Curso de  
Engenharia Civil apresentado à Escola  
Politécnica da Universidade de São  
Paulo

Orientador: Prof. Dr. Claudio Barbieri  
da Cunha

**São Paulo**  
**2016**

## Catalogação-na-publicação

Lusor, Allan

Análise de Alternativas de Distribuição para o Comércio Eletrônico / A. Lusor, A. Akita, A. Marcon, L. Campos -- São Paulo, 2016.  
83 p.

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

1. Transportes 2. Logística 3. Roteirização 4. E-commerce I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Transportes  
II.t. III. Akita, Alessandro IV. Marcon, Arthur V. Campos, Luiz



## **Agradecimentos**

Vários são aqueles que colaboraram de algum modo, direta ou indiretamente, para o desenvolvimento deste trabalho.

Em primeiro lugar, os nossos agradecimentos ao Prof. Dr. Claudio Barbieri da Cunha, que aceitou nos orientar na realização deste trabalho. Ele, que sempre esteve presente, nos orientando de maneira exemplar, compartilhando seu conhecimento e experiência.

Gostaríamos também de agradecer ao Fernando Mutarelli e ao Fernando Belcorso pela ajuda que nos deram quando da realização deste trabalho e por terem aceito integrar a comissão de avaliação do mesmo.

Agradecemos a contribuição de cada um dos membros deste grupo na execução deste trabalho, pelo conhecimento e ajuda compartilhados e pelo vínculo de amizade que criamos com este período de convivência.

Finalmente, agradecemos a todos aqueles que estiveram presentes ao longo da nossa vida acadêmica na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, sejam eles amigos ou familiares.

## Sumário

1. Introdução .....	11
2. Revisão Bibliográfica.....	13
2.1. Roteirização .....	13
2.2. Logística e seus Objetivos Quanto a Custos e Nível de Serviço.....	17
2.3. Problemas de Roteirização.....	19
2.4. Métodos de Roteirização .....	24
2.5. O Uso de Roteirizadores na Gestão de Transportes.....	25
3. Análise da Base de Dados.....	28
4. Metodologia.....	38
5. O Programa Criado .....	40
5.1. Algoritmos Utilizados .....	40
5.2. Premissas Adotadas .....	43
6. Síntese do Programa .....	46
6.1. Parâmetros para o Programa .....	46
6.2. Determinação do Número de <i>Cluster</i> e Centroides Iniciais .....	47
6.3. Aplicação do Algoritmo de <i>K-means</i> com Fatores Limitantes .....	48
6.4. Iterações e Método de Parada.....	49
6.5. Roteirização Final e Resultados .....	50
7. Análise de Resultados .....	51
8. Custos .....	58
9. Considerações Finais.....	68
10. Referências Bibliográficas.....	69
ANEXO I - Fórmula de Haversine .....	71
ANEXO II – Tabelas Resumo.....	73

## **Lista de Figuras**

Figura 1 - Distribuição das entregas por região da cidade de São Paulo .....	28
Figura 2 - Entregas por dia da semana.....	30
Figura 3 - Distribuição das entregas por tipo (Leve e Pesada).....	31
Figura 4 - Entregas por região e dia da semana.....	31
Figura 5 - Entregas por tipo (Leve e Pesada) e dia da semana.....	32
Figura 6 - Entregas por Região e mês .....	33
Figura 7 - Entregas por tipo (Leve e Pesada) e mês .....	33
Figura 8 - Histograma de entregas no mês de Janeiro a Junho .....	34
Figura 9 - Histograma de entregas no mês de Janeiro .....	34
Figura 10 - Histograma de entregas no mês de Fevereiro.....	35
Figura 11 - Histograma de entregas no mês de Março.....	35
Figura 12 - Histograma de entregas no mês de Abril.....	36
Figura 13 - Histograma de entregas no mês de Maio .....	36
Figura 14 - Histograma de entregas no mês de Junho .....	37
Figura 15 - Painel de Controle do programa .....	46
Figura 16 - Entregas do dia 28/03.....	52
Figura 17 - Entregas do dia 29/03.....	52
Figura 18 - Entregas do dia 30/03.....	52
Figura 19 - Entregas do dia 31/03 .....	52
Figura 20 - Entregas do dia 01/04 .....	52
Figura 21 - Entregas do dia 02/04 .....	52
Figura 22 – Malha de entregas clusterizada no dia 28/03 .....	55
Figura 23 - Malha de entregas clusterizada no dia 29/03 .....	55
Figura 24 - Malha de entregas clusterizada no dia 30/03 .....	56
Figura 25 - Malha de entregas clusterizada no dia 31/03 .....	56
Figura 26 - Malha de entregas clusterizada no dia 01/04 .....	57
Figura 27 - Malha de entregas clusterizada no dia 02/04 .....	57
Figura 28 - Número de entregas e distância média percorrida de 28/03 a 02/04 ....	61
Figura 29 - Frota própria vs. <i>courier</i> em 28/03.....	64
Figura 30 - Frota própria vs. <i>courier</i> em 29/03.....	64
Figura 31 - Frota própria vs. <i>courier</i> em 30/03.....	65
Figura 32 - Frota própria vs. <i>courier</i> em 31/03 .....	65
Figura 33 - Frota própria vs. <i>courier</i> em 01/04 .....	66
Figura 34 - Frota própria vs. <i>courier</i> em 02/04 .....	66
Figura 35 - Esfera considerada na lei de Haversine .....	71

## **Lista de Tabelas**

Tabela 1 - Exemplos de Decisões na Gestão de Transportes .....	16
Tabela 2 - As 20 maiores cidades da Região Metropolitana de São Paulo, em número de entregas .....	30
Tabela 3 - Resultado da Simulação para o dia 28/03 .....	53
Tabela 4 - Resultado da Simulação para o dia 29/03 .....	53
Tabela 5 - Resultado da Simulação para o dia 30/03 .....	53
Tabela 6 - Resultado da Simulação para o dia 31/03 .....	54
Tabela 7 - Resultado da Simulação para o dia 01/04 .....	54
Tabela 8 - Resultado da Simulação para o dia 02/04 .....	54
Tabela 9 - Características dos veículos .....	59
Tabela 10 - Custos Fixos da Metodologia da ANTT .....	60
Tabela 11 - Custos Variáveis da Metodologia da ANTT .....	60
Tabela 12 - Comparativo de Custos .....	62
Tabela 13 – Necessidade de <i>courier</i> por dia .....	63
Tabela 14 – Resumo do dia 28/03 .....	63
Tabela 15 – Resumo do dia 29/03 .....	75
Tabela 16 – Resumo do dia 30/03 .....	77
Tabela 17 – Resumo do dia 31/03 .....	79
Tabela 18 – Resumo do dia 01/04 .....	81
Tabela 19 – Resumo do dia 02/04 .....	83

## Resumo

Os custos logísticos são elementos importantes para a sustentabilidade das empresas e fatores decisivos para a tomada de decisão, que podem afetar direta ou indiretamente o futuro das organizações, pois exercem influência relevante na competitividade e nos resultados econômicos e financeiros. O presente trabalho tem como objetivo avaliar o uso de serviços de terceiros (*courier*) em substituição à frota própria para entregas domiciliares de uma empresa do comércio eletrônico, assim como definir as áreas da Região Metropolitana de São Paulo (RMSp) onde vale a pena operar com uma frota própria em relação a uma frota terceirizada, tendo em vista as demandas de entrega por regiões e a proximidade com o centro de distribuição. Através de livros, revistas, teses, trabalhos científicos e materiais disponibilizados na Internet, compôs-se a parte teórica. Para a parte aplicada, recorreu-se a dados cedidos pela empresa, objeto deste estudo, e a criação de um programa de roteirização em ambiente VBA. A análise dos resultados obtidos, respondeu ao problema proposto, atingindo o objetivo geral e validando as hipóteses levantadas.

**Palavras-chave:** Transportes. Logística. Roteirização. *E-commerce*

## Abstract

Logistic costs are relevant elements for companies' stability and important factors for decision making, which can affect directly or indirectly the future of organizations, as they have great influence on competitiveness and economic and financial results. This work aims to evaluate the option of replace an owned fleet for a third party services (courier) for domestic deliveries of an e-commerce company, as well as defining the areas of the São Paulo Metropolitan Region (RMSP) where it is better to operate with an owned fleet in comparison to an outsourced one, considering delivery demand by regions and proximity to the distribution center. The theoretical part was composed through books, magazines, theses, scientific works and materials available online. For the applied part, we used the data provided by the analysed company, as well as a routing program developed by the group in VBA. The results analysis answered to the proposed problem, reaching the general objective and validating the hypotheses raised.

**Keywords:** Transport. Logistics. Routing. E-commerce

## 1. Introdução

O transporte é uma área chave de decisão dentro do composto logístico. À exceção do custo de bens adquiridos, o transporte absorve, em média, a porcentagem mais elevada de custos do que qualquer outra atividade logística. Embora as decisões de transporte se expressem em uma variedade de formas, as principais são a seleção do modal, a roteirização do transportador, a programação de veículos e a consolidação do embarque (BOWERSOX E CLOSS, 1997).

Segundo Ballou (2006), o transporte representa, normalmente, entre um e dois terços dos custos logísticos totais: por isso mesmo, aumentar a eficiência por meio da máxima utilização dos equipamentos e pessoal de transporte é uma das maiores preocupações do setor.

A atividade de distribuição de uma empresa compreende toda a movimentação desde estocagem de bens “*a jusante*” da fábrica até o consumidor final. Esta última etapa (dos centros de distribuição para os consumidores), a qual pode ser definida como transporte local ou entrega, representa o elo mais caro da cadeia de distribuição (CHRISTOFIDES *et al.*, 1981). Para esta etapa ser realizada de maneira eficiente, a empresa deve desenvolver o planejamento e a execução da atividade de transporte de forma racional (BODIN *et al.*, 1983).

A importância dos problemas de distribuição diz respeito a magnitude dos custos associados a esta atividade. BODIN *et al.* (1983) mostraram que os custos de distribuição física agregam cerca de 16% do valor final de um item. BALLOU (2001) relata que os custos logísticos representam cerca de 23% do PIB americano, e destes custos, o transporte representa algo em torno de dois terços.

Como forma de otimizar os processos e reduzir custos de entrega, empresas transportadoras, também chamadas de *courier*, são contratadas por fabricantes de produtos para diferentes tipos de carga até os mercados consumidores. No entanto, não são raros os casos em que a empresa opta por adquirir uma frota própria de veículos e executar o serviço de transporte ela mesma, principalmente com a intenção reduzir custos e melhorar o nível de serviço oferecido aos clientes. Alternativa a aquisição da frota de veículos é a assinatura de um contrato de prestação de serviço com um *courier* ou a operação de uma frota dedicada, visando os mesmos objetivos. Em tempos de recessão econômica, como o que se vivencia,

onde se busca incessantemente cortar custos, essa pode ser uma estratégia para que uma empresa se destaque no mercado.

Neste contexto, o presente trabalho de formatura foi realizado em parceria com uma importante empresa que atua no comércio eletrônico e tem como objetivos:

- Propor um procedimento para avaliar a potencialidade do uso de serviços de terceiros (*courier*) em substituição à frota própria para realizar a entrega domiciliar da empresa de comércio eletrônico na Região Metropolitana de São Paulo
- Definir as áreas da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) onde vale a pena operar com uma frota própria em relação a uma frota terceirizada, tendo em vista as demandas de entrega por regiões e a proximidade com o centro de distribuição.

Para isso, o grupo fez algumas visitas ao escritório da companhia, bem como ao seu centro de distribuição, para entender um pouco melhor como estava estruturada esta operação e teve acesso a base de dados das entregas de um determinado período de 2016 realizadas na RMSP. Na sequência esses aspectos serão abordados mais detalhadamente.

Este trabalho está organizado da seguinte forma: na seção 2 é apresentada a revisão bibliográfica sobre o assunto, seguindo-se, na seção 3, de uma análise qualitativa das entregas da empresa. Já na seção 4, encontra-se a metodologia adotada para determinar o tipo de entrega e é seguido por uma que explora o que foi utilizado para a construção do código (seção 5). Enquanto, a seção 6 explica o código, a 7 e 8 exploram, respectivamente, os resultados oriundos do programa e os custos vinculados.

## 2. Revisão Bibliográfica

### 2.1. Roteirização

A grande necessidade de reduzir custos e melhorar o nível de serviço disponibilizado aos clientes impulsionou as organizações a investirem e direcionarem seus esforços para a otimização das atividades logísticas. Através da roteirização é possível otimizar os veículos, planejar as rotas de entregas e vendas, aumentar a eficiência operacional, reduzir o índice de devolução, dispersão de quilometragem, consumo de combustível, gastos com manutenção e pneus, e melhorar a qualidade das informações gerenciais, assim, reduzindo os custos logísticos e melhorando o nível de serviço prestado aos clientes internos e externos.

O termo Roteirização, embora não encontrado nos dicionários de língua portuguesa, é a forma que vem sendo utilizada como equivalente ao inglês “*routing*” para designar o processo de determinação de um ou mais roteiros ou seqüências de paradas a serem cumpridos por veículos de uma frota, objetivando visitar um conjunto de pontos geograficamente dispersos, em locais pré-determinados, que necessitam de atendimento. O termo roteamento também é utilizado alternativamente por alguns autores, embora este termo seja mais comumente utilizado quando associado às redes computacionais (CUNHA, 1997).

Um problema real de roteirização é definido por três fatores fundamentais: decisões, objetivos e restrições (PARTYKA E HALL, 2000). As decisões dizem respeito à alocação de um grupo de clientes, que devem ser visitados, a um conjunto de veículos e motoristas, envolvendo também a programação e o sequenciamento das visitas. Como objetivos principais, o processo de roteirização visa propiciar um serviço de alto nível aos clientes, mas ao mesmo tempo mantendo os custos operacionais e de capitais tão baixos quanto possível. Por outro lado, deve obedecer a certas restrições. Em primeiro lugar, deve-se completar as rotas com os recursos disponíveis, mas cumprindo totalmente os compromissos assumidos com os clientes. Em segundo lugar, deve-se respeitar os limites de tempo impostos pela jornada de trabalho dos motoristas e ajudantes. Finalmente, devem ser respeitadas as restrições de trânsito, no que se refere às velocidades máximas, horários de carga/descarga, tamanho máximo dos veículos nas vias públicas, etc.

De acordo com Cunha (2000), a roteirização pode ser caracterizada por n clientes (representados numa rede de transportes por nós ou arcos) que deverão ser servidos por uma frota de veículos, sem apresentarem restrições ou a ordem em que deverão ser atendidos.

Enomoto e Lima (2007) levantam as principais restrições que devem ser consideradas ao realizar uma roteirização, sendo elas: tamanho da frota disponível; tipo de frota; garagem dos veículos; natureza da demanda; localização da demanda; características da rede; restrições de capacidade dos veículos; requisitos de pessoal; tempos máximos de rotas; operações envolvidas; custos e objetivos.

Ballou (2006) destaca oito princípios como diretrizes para o desenvolvimento de boas rotas e cronogramas. São eles:

1. Carregar caminhões com volumes destinados a paradas que estejam mais próximas entre si. Os roteiros dos caminhões devem ser organizados em torno do agrupamento de paradas próximas umas das outras a fim de minimizar o tráfego entre elas e também o tempo total em trânsito nesse roteiro.
2. Paradas em dias diferentes devem ser combinadas para produzir agrupamentos concentrados. Elas devem ser segmentadas em problemas de roteirização e programações diferentes para cada dia da semana. Os segmentos diários programados devem evitar a superposição dos agrupamentos de paradas. Isso ajuda a minimizar o número de caminhões necessários para servir todas as paradas e a minimizar tempo de viagem e a distância que percorrerão durante a semana.
3. Iniciar os roteiros a partir da parada mais distante do depósito. Uma vez identificada a parada mais distante, é preciso selecionar as paradas em torno dessa parada-chave que completam a capacidade do caminhão a ser utilizada.
4. O sequenciamento das paradas num roteiro de caminhões deve ter forma de lágrima. As paradas devem ser sequenciadas de maneira a não ocorrer nenhuma superposição entre elas.
5. No roteiro ideal, deve-se utilizar veículos com capacidade suficiente para

abastecer todas as paradas de um roteiro, minimizando a distância ou tempo total percorrido para servir todas as paradas.

6. As coletas devem ser feitas, tanto quanto possível, ao longo do andamento das entregas a fim de minimizar o número de superposições de roteiros que tende a ocorrer quando tais paradas são servidas depois da realização de todas as entregas.
7. Paradas isoladas de pontos de entregas, especialmente aquelas de baixo volume, são servidas ao maior custo de tempo do motorista e despesas do veículo. A utilização de veículos menores para cuidar dessas paradas pode revelar-se mais econômica, dependendo da distância e dos volumes envolvidos. A utilização de transporte terceirizado é uma boa alternativa nesses casos.
8. As pequenas janelas de tempo de paradas muito pequenas podem forçar uma sequência de paradas longe do padrão ideal.

Um bom gerenciamento de transportes, segundo Marques (2002), pode garantir (1) melhores margens para a empresa pela redução de custos e/ou uso mais racional dos ativos e (2) um bom nível de serviço para os clientes, pelo aumento da disponibilidade de produtos e reduções nos tempos de entrega, entre outros benefícios. Neste contexto, é possível destacar três níveis diferenciados de tomada de decisão, de acordo com a freqüência com que elas precisam ser revisadas, como mostra a Tabela 1.

Nível de Decisão	Exemplos
<b>Nível Estratégico</b>	
Definição da rede logística	Concepção da rede logística, que determinará a localização de fábricas, CDs em função da localização de seus fornecedores, clientes e fluxos de materiais;
Decisão da utilização de modais	Escolha entre as alternativas de modais
Decisão da propriedade da frota	Escolha entre frota própria ou frota terceirizada, que envolve o estudo do fluxo de caixa da empresa, o cálculo das taxas de retorno dos investimentos ou desinvestimentos
<b>Nível Tático</b>	
Planejamento de transportes	Estabelecimento de regras e premissas para a geração dos roteiros que deverão ser seguidos na programação de transportes;
Seleção e contratação de transportadores	Definição de parâmetros estruturados para a tomada de decisão de quais transportadores contratar;
Gestão sobre o transporte <i>inbound</i>	Decisão de gerir ou não o transporte de suprimentos pela empresa
Análise de frete de retorno	
<b>Nível Operacional</b>	
Programação de transportes	Atividades de roteirização, consolidação de cargas, escolha do tipo do veículo, emissões de documentos, <i>tracking</i> e programação de carga e descarga.

Tabela 1 - Exemplos de Decisões na Gestão de Transportes

Problemas de roteirização ocorrem com bastante freqüência na distribuição de produtos e serviços. Alguns exemplos são listados a seguir (NOVAES, 2004):

- Entrega, em domicílio, de produtos comprados nas lojas de varejo ou pela internet;
- Distribuição de bebidas em bares e restaurantes;
- Distribuição de dinheiro para caixas eletrônicos de bancos;

- Distribuição de combustíveis para postos de gasolina;
- Coleta de lixo urbano;
- Entrega domiciliar de correspondência;
- Distribuição de produtos dos Centros de Distribuição (CD) de atacadistas para lojas do varejo.

## 2.2. Logística e seus Objetivos Quanto a Custos e Nível de Serviço

Em meio à competitividade que assola os mercados devido às concorrências que surgem e as já existentes, para os produtos concorrentes e substitutos, é cada vez mais importante ter uma operação que atenda seus clientes de maneira satisfatória, garantindo um baixo custo para o aumento da rentabilidade e um nível de serviço adequado e diferenciado.

A roteirização possibilita a simulação e a análise de custos em tempo real, tornando possível, na elaboração do planejamento, a escolha do melhor roteiro. Na hora do planejamento, pode-se já considerar, conforme as informações disponíveis, o tempo de atendimento dos clientes, para não gerar atraso na rota; janela de atendimento, para não chegar ao cliente em um horário em que ele não receba; e restrições de vias, para não atrasar as entregas, evitando retornos e gerando nível de serviço aos clientes.

Segundo Ballou (2006), logística é o processo de planejamento, implantação e controle do fluxo eficiente e eficaz de mercadorias. A logística também lida, além de bens materiais, com o fluxo de serviços, uma área com crescentes oportunidades de aperfeiçoamento. Essa definição sugere igualmente ser a logística um processo, o que significa que inclui todas as atividades importantes para a disponibilização de bens e serviços aos consumidores quando e onde estes quiserem adquiri-los.

Segundo Silva (2003), reduzir tempo é a melhor prestação do serviço com o objetivo de satisfazer os clientes da forma mais assertiva; são soluções que as organizações precisam buscar encontrar todos os dias a fim de definir um modal e uma rota apropriada. Por isso, o cumprimento das etapas de construção de roteiros é relevante.

Através da roteirização, é possível melhorar a utilização dos veículos, entregar mais com menos, reduzir os custos de entrega por quilo, dimensionar a quantidade de entregas conforme a capacidade da rota ou jornada, diminuir os gastos com combustível, pneus, manutenção, horas extras, sobreposição em rota e quantidade de recursos necessários para execução do planejado, como, por exemplo, mão de obra e quantidade de veículos, já que todas essas variáveis impactam diretamente no custo e nível de serviço operacional.

Araújo (2003) diz que roteirização é a determinação da melhor sequência, ou vias, em que os veículos devem percorrer para garantir o atendimento às demandas. O objetivo é reduzir custos operacionais, melhorar o nível de serviço, as distâncias percorridas e os tempos de trajeto.

Segundo Melo (2001), muitas empresas envolvidas no cotidiano das operações de transporte têm reduzido seus custos entre 10% a 15% com o uso da análise de transportes, tática ou estratégica. Na medida em que os clientes continuam a exigir pedidos menores, a análise dos transportes torna-se ainda mais imprescindível nas decisões de roteirização, de programação e consolidação.

Conforme a Revista Br (2002), dentre as empresas que já aderiram a soluções de roteirização, observa-se reduções de custo total de, no mínimo, 10%, podendo chegar a mais e 25% em operações críticas.

Com mais pontos de entrega ou captação e um número mais reduzido de produtos a serem entregues, são gerados problemas: Quem atender primeiro? Qual caminho tomar? Segundo Ballou (2001, p. 161), quando existem múltiplos pontos de origem que podem servir a múltiplos pontos de destino, surge o problema de atribuir destinos às fontes, assim como de encontrar as melhores rotas entre eles.

Conforme Novaes (2007, p. 303), como objetivos principais, o processo de roteirização visa propiciar um serviço de alto nível aos clientes, mantendo os custos operacionais e de capitais tão baixos quanto possível.

De acordo com Bowersox, Closs e Cooper (2002, p. 415), as análises de transporte estão focalizadas na roteirização e na programação dos equipamentos de transporte para aperfeiçoar a utilização dos veículos e dos motoristas, buscando atender melhor às exigências dos serviços aos clientes. Como, por exemplo, um melhor atendimento, que geraria uma maior satisfação por parte dos consumidores e

também uma redução significativa dos custos fixos, pois o combustível será menos utilizado, pneus serão menos desgastados, amortecedores serão menos forçados e uma maior quantidade de carga poderá ser transportada, já que o tempo estará sendo otimizado.

Dessa forma, conclui-se que o objetivo da logística é, em meio à dinâmica de mercado, garantir o atendimento adequado dos clientes, sejam internos ou externos, garantindo a disponibilidade de bens ou serviços no momento exato, com um baixo custo e um nível de serviço satisfatório, evitando excessos ou desperdícios, pois se não houver um ótimo planejamento, levando em consideração a exigência operacional de atendimento instantâneo da demanda, a organização terá custos elevados, baixa rentabilidade, nível de serviço ruim e perda de *share* de mercado devido ao não abastecimento de seus clientes e atendimento de suas expectativas.

### **2.3. Problemas de Roteirização**

Segundo BODIN *et. al.* (1983), os problemas de roteirização podem ser classificados em três grupos principais:

- Problemas de roteirização pura de veículos;
- Problemas de programação de veículos e tripulações;
- Problemas combinados de roteirização e programação de veículos.

#### **Problemas de roteirização pura de veículos**

O problema de roteirização pura de veículos é primariamente um problema espacial, onde as condicionantes temporais não são consideradas na geração dos roteiros para coleta e/ou entrega. Em alguns casos, a restrição de comprimento máximo da rota pode ser considerada. Nesse tipo de problema, existe um conjunto de nós e/ou arcos que devem ser atendidos por uma frota de veículos. O objetivo é definir uma seqüência de locais (a rota) que cada veículo deve seguir a fim de se atingir a minimização do custo de transporte. Os principais problemas de roteirização pura de veículos são (NARUO, 2003):

- Problema do caixeiro viajante: Consiste em determinar uma rota de mínimo custo que passe por todos os nós de uma rede exatamente uma vez. É um problema de cobertura de nós. Este problema admite que o indivíduo (ou veículo) que vai efetuar o roteiro não seja limitado por restrições de tempo, de capacidade, etc.
- Problema do carteiro chinês: Consiste em encontrar uma rota de percurso mínimo, dentro de uma área, passando ao longo de cada arco pelo menos uma vez. É um problema de cobertura de arcos. Situações freqüentes que se inserem dentro deste contexto são: varrição de rua, serviços de endereçamento postal, coleta de lixo, etc.
- Problema de múltiplos caixeiros viajantes: É uma generalização do problema do caixeiro viajante onde há a necessidade de se levar em consideração mais de um caixeiro viajante (veículos). Os  $n$  veículos na frota têm suas rotas iniciadas e terminadas em um único depósito comum a todos. Não há restrições no número de nós que cada veículo deve visitar, exceto que cada veículo deve visitar ao menos um nó.
- Problema de roteirização em nós com um único depósito: Clássico problema de roteirização de veículos – PRV. Existe quando há restrições de tempo ou capacidade dos veículos, e é uma extensão do problema do caixeiro viajante. A determinação de itinerários dos veículos implica em se fazer entregas a partir de um depósito para vários pontos de parada, de forma a minimizar a distância total a ser percorrida por toda a frota. Cada ponto de parada é servido exatamente uma vez e, somado a isso, todos os pontos de parada devem ser designados para veículos, de tal maneira que a demanda total em qualquer rota não exceda a capacidade do veículo alocado para esta rota. A demanda em cada nó é assumida como sendo determinística e cada veículo possui capacidades conhecidas.
- Problema de roteirização em nós com múltiplos depósitos: Generalização do problema anterior, em que uma frota de veículos está alocada em  $D$  depósitos ao invés de um. Todas as outras restrições com relação ao PRV são aplicáveis.

## Problemas de programação de veículos e tripulações

Os problemas de programação de veículos e de tripulações podem ser considerados como problemas de roteirização com restrições adicionais relacionadas aos horários em que várias atividades devem ser executadas. Há um tempo associado a cada tarefa a ser executada. Por exemplo, cada ponto de parada pode requerer que o atendimento seja feito em um horário específico. Assim, as condicionantes temporais devem ser consideradas explicitamente no tratamento do problema.

BODIN *et. al.* (1983) classificam os problemas desta categoria em dois grupos: programação de veículos e programação de tripulações. Estes dois tipos de problemas são essencialmente semelhantes, embora o problema de programação de tripulações envolva restrições mais complexas como horário de parada para almoço e outros aspectos de natureza trabalhista. Estes dois tipos de problemas interagem entre si: a especificação da programação dos veículos definirá certas restrições na programação das tripulações e vice-versa. Idealmente, ambos os problemas deveriam ser resolvidos simultaneamente, mas modelos que incorporam ambos os problemas em um único problema de otimização são geralmente mais complexos. Consequentemente, muitas estratégias de solução adotam procedimentos seqüenciais que resolvem um problema primeiro e então o outro, com algum mecanismo de interação entre ambos.

Os principais problemas de programação de veículos são (PELIZARO, 2000):

- Problema de programação de veículos com um único depósito: Consiste no particionamento dos nós (tarefas) de uma rede acíclica em um conjunto de caminhos, de modo que uma determinada função custo seja minimizada. Cada caminho corresponde a um veículo. Uma função objetivo que minimize o número de caminhos efetivamente minimiza os custos de capital desde que o número de veículos necessários seja igual ao número de caminhos;
- Problema de programação de veículos com restrições de comprimento de caminho: Considera restrições de tempo máximo de viagem ou de distância máxima percorrida pelo veículo antes dele voltar para o depósito. Esta

restrição é comumente encontrada na prática e corresponde a restrições de combustível, considerações de manutenção etc.;

- Problema de programação de veículos de vários tipos: Considera a possibilidade de que veículos com diferentes capacidades estejam disponíveis para realização das tarefas. É semelhante ao problema anterior;
- Problema de programação de veículos com múltiplos depósitos: Ocorre onde as tarefas podem ser realizadas por veículos a partir de mais de um depósito, e estes ao final do serviço retornam aos seus depósitos de origem.

Com relação a programação de tripulações, NARUO (2003) apresenta os seguintes problemas:

- Problema de programação de pessoal em um local fixo: Consiste em encontrar um conjunto de programação de trabalho que seja capaz de atender todas as necessidades de tarefas em todos os períodos de tempo. Assume-se que os trabalhadores são intercambiáveis e que um determinado trabalhador possa ser deslocado ao final de cada período de tempo e que outro possa ser alocado no início de cada período de tempo;
- Problema de programação de veículos e tripulações no transporte público de massa: Consiste em determinar a alocação ótima de veículos a um conjunto de viagens programadas de linhas, e determinar também as jornadas das tripulações, considerando que as trocas de serviço e de turno só podem ser realizadas em pontos específicos dos trajetos das linhas;
- Problema de programação de pessoal em turnos de revezamento: Se caracteriza pela programação diária que varia de um dia para outro, havendo um rodízio de turno de pessoal, em função de restrições legais, trabalhistas, sindicais, de equalização de esforço de trabalho e outras. A necessidade de revezamento no cumprimento das tarefas ocorre pela necessidade de uma equalização da carga e das condições de trabalho para atividades que percebem a mesma remuneração.

## Problemas combinados de roteirização e programação

Quando existe a ocorrência de aplicações com restrições de janelas de tempo (horário de atendimento) e de precedência de tarefas (coleta deve preceder a entrega e ambas devem estar alocadas ao mesmo veículo), o problema pode ser visto como um problema combinado de roteirização e programação de veículos.

O problema de roteirização e programação de veículos com janelas de tempo, PRPVJT, é uma importante variação do PRV. No PRPVJT, um número de pontos para atendimento tem uma ou mais janelas de tempo durante o qual o serviço pode ser executado. Por exemplo, o proprietário de um restaurante pode desejar que as entregas de produtos sejam feitas entre 8h00 horas e 9h00 horas. Assim, qualquer rota que envolva esta tarefa deve assegurar que o tempo de entrega esteja dentro dos limites de tempo especificados.

Vale a pena se distinguir aqui as janelas de tempo *hard* e *soft*. No caso de janelas de tempo do tipo *hard*, se um veículo chega ao cliente muito cedo, ele terá que esperar para iniciar o atendimento. Em contraste, nas janelas de tempo do tipo *soft*, as restrições de janelas de tempo podem ser violadas, mas sujeitas a penalidades. Exemplos específicos de problemas com janelas de tempo *hard* incluem entregas bancárias, entregas postais, coleta de rejeitos industriais e roteirização e programação de ônibus escolares. Dentro das instâncias do problema com janelas de tempo *soft*, estão os problemas do tipo *dial-a-ride*, que são problemas de roteirização e programação de serviços de transporte de pessoas, em geral utilizados para o transporte porta-a-porta de idosos e deficientes (NARUO, 2003).

Estes problemas combinados de roteirização e programação de veículos freqüentemente surgem na prática e são representativos de muitas aplicações do mundo real, como por exemplo (BODIN *et. al.*, 1983):

- Problema de roteirização e programação de ônibus escolares para atendimento de um conjunto de escolas, consiste de um número de escolas e cada uma delas possui um conjunto de paradas de ônibus com um dado número de estudantes vinculados a cada uma destas e uma janela de tempo correspondente aos horários de início e término do período

escolar. O principal objetivo desse problema é minimizar os custos de transportes para os municípios;

- Problema de definição de roteiros e programação de serviços de coleta de resíduos domiciliares e de varrição de ruas é semelhante ao problema do carteiro chinês, mas com restrições de capacidade dos veículos, de duração máxima da jornada e de janelas de tempo associadas aos horários de proibição de estacionamento, de forma a possibilitar a execução do serviço de varrição. Em geral, o objetivo consiste na minimização da frota ou em um objetivo correlato, como por exemplo, na minimização do tempo morto total, para uma frota conhecida;
- Problema de roteirização em atacadistas: Problema comum de roteirização logística, na qual se precisa associar os clientes (paradas) a serem atendidos a determinados veículos e numa seqüência ótima, que minimize o custo total, respeitando as janelas de atendimento. Esse é o problema que será abordado nesse trabalho.

## 2.4. Métodos de Roteirização

Segundo Novaes (2007), os métodos de roteirização, em sua grande parte, foram desenvolvidos e receberam o nome de seus idealizadores. Entre os sistemas de roteirização mais utilizados estão o método Clarke & Wright e o método de Varredura. Através desses métodos, é possível efetuar o planejamento das rotas de maneira eficiente, para que sua execução possa ser realizada da melhor forma possível.

Segundo Ballou (2006), elaborar boas soluções para o problema de roteirização e programação de veículos torna-se cada vez mais difícil na medida em que novas restrições são impostas. Janelas de tempo, caminhões múltiplos com diferentes capacidades de peso e cubagem, tempo máximo de permanência ao volante em cada roteiro, velocidades máximas diferentes em diferentes zonas, barreiras ao tráfego (lagos, desvios, montanhas) e os intervalos para o motorista são algumas inúmeras considerações práticas, que acabam pesando sobre o projeto do roteiro. Utilizando os métodos de roteirização para o planejamento das rotas, é

possível fazer melhor uso dos recursos existentes, fazer entregas inteligentes, ter maior controle das rotas, reduzindo a sobreposição de entrega, possibilitando a criação de territórios e rotas rentáveis; definir o caminho mais eficiente, gerando redução de custos e melhoria do nível de serviço.

Segundo Novaes (2007, p. 314), o método Clarke & Wright, criado em 1963, tem sido muito utilizado e com grande sucesso na resolução de problemas isolados, como também aparece embutido dentro de muitos *softwares* de roteirização.

Essa ferramenta, sendo utilizada eficazmente, proporciona um leque de diferentes opções de roteiros a serem traçados, pois proporciona benefícios satisfatórios à empresa, organizando as diferentes restrições de uma rota e outras formas de distribuição de produtos e serviços para seus clientes.

O método conhecido como Varredura, segundo Novaes (2007), é bem mais simples que o Clarke & Wright, contudo, é menos preciso. Nesse método, os pontos de parada são divididos por setores, áreas a serem atendidas. Para cada área é feito um roteiro diferente, até que todos os pontos de parada estejam inclusos nos roteiros.

Dessa forma, observou-se que o planejamento das rotas pode ser feito de maneira simples e rápida, em que os pontos vão sendo interligados, considerando apenas a capacidade do veículo e a parada mais próxima. Esse método, conhecido como varredura, pode alcançar resultados bons, mas, devido à sua metodologia e rápida aplicabilidade, não permite as análises necessárias para um resultado ótimo, ou de maneira mais crítica e complexa, em que, durante o planejamento, são feitas várias simulações para verificar dentre as várias possibilidades quais são as mais econômicas para o planejamento do roteiro e uma execução mais eficiente que é o método Clarke & Wright, independente da metodologia utilizada, é possível a redução dos custos, melhoria do desempenho operacional e nível de serviço.

## 2.5. O Uso de Roteirizadores na Gestão de Transportes

Na discussão sobre as principais funcionalidades de um *transportation management system* (TMS), Marques (2002) relaciona três grupos principais de

funcionalidades: monitoramento e controle, apoio à negociação e auditoria de frete e, planejamento e execução.

Quanto à funcionalidade de planejamento e execução, o autor destaca a existência de soluções capazes de determinar as rotas e modais a serem utilizados, sequenciar as paradas dos veículos e o tempo estimado de cada uma delas, preparar os documentos necessários para o despacho dos veículos e verificar a disponibilidade dos mesmos. Neste sentido, a funcionalidade de roteirização envolve a definição de rotas e a programação dos veículos, considerando uma série de restrições operacionais.

Os *softwares* roteirizadores, segundo Marques (2002), operam baseados em algoritmos avançados de otimização e modelos bem robustos, geralmente com objetivo de minimizar o custo total da operação.

Como coloca Marques (2002), a determinação do tamanho da frota é outra funcionalidade disponível nos TMS como ferramenta de administração diária das necessidades de transporte. Neste sentido, o TMS pode indicar uma maior ou menor necessidade de veículos dado um aumento ou decréscimo da demanda de transportes.

Quanto aos benefícios proporcionados pelos *softwares* roteirizadores, Rago (2002) cita a redução dos custos de transporte com o aumento da ocupação dos veículos, bem como do sincronismo de fluxos dos produtos desde a separação de pedidos até o carregamento dos mesmos, com consequente elevação do nível de serviço aos clientes.

Um exemplo interessante do uso de roteirizadores foi o caso das Lojas Pernambucanas discutido por Borges (2002). Neste estudo de caso, a empresa buscava uma solução que permitisse, ao final do planejamento do serviço, a definição do melhor esquema de entrega das mercadorias. Com a implantação do roteirizador, a primeira modificação percebida aconteceu nas rotas, que deixaram de ser fixas e passaram a ser determinadas pelo *software*, de acordo com a demanda da empresa. O roteirizador foi responsável por analisar, orientar o operador do sistema de entregas e indicar a rota e o veículo mais adequado para cada tipo de carga e distância. No futuro, espera-se também que o *software* controle o horário de chegada dos veículos às lojas, melhorando assim o cumprimento de prazos de

entrega e tempo de espera. Este caso das Lojas Pernambucanas apontou uma redução de custo da ordem de 5% nos seis primeiros meses do roteirizador.

Além da redução nos custos de transportes e a melhoria do nível de serviço, Marques (2002) cita outros benefícios proporcionados pelas ferramentas de TMS, em que os roteirizadores estão inseridos: Melhor utilização dos custos de transportes; Melhoria na composição de cargas (consolidação) e rotas; Menor tempo para planejar a distribuição e a montagem de cargas; Disponibilidade de dados acurados dos custos de frete mostrados de várias formas, como por exemplo, por cliente ou por produto; Acompanhamento da evolução dos custos com transportes; Disponibilidade de informações *online* e o Suporte de indicadores de desempenho para aferir a gestão de transportes;

Em artigo da revista Log&Mam (2002) baseado em entrevistas com os principais gerentes de empresas que desenvolvem softwares de roteirização, foram ainda citadas mais algumas vantagens da utilização dos roteirizadores: Integração com sistemas corporativos das empresas; Redução de gastos com pessoal de apoio e motoristas; Bloqueio virtual de trechos de rodovias impossibilitados ao trânsito de veículos e criação de rotas alternativas; Aumento da segurança no transporte, sendo possível sua interligação a sistemas de rastreamento e a possibilidade de integração da malha viária e urbana, eliminando limites de roteirização.

Apesar da roteirização ser uma importante ferramenta para a redução dos custos e aumento da eficiência operacional, Lopes e Melo (2003) argumentam que ela depende de alguns fatores essenciais, entre eles uma base de dados atualizada e sistemas modernos, normalmente baseados em Sistema de Informações Geográficas (GIS), que são itens caros e nem sempre se adaptam facilmente à cultura das empresas. De forma semelhante, Rago (2003) lembra que o maior risco dos roteirizadores advém das informações que parametrizarão o sistema e das que alimentarão o mesmo. Desta forma, o autor destaca a necessidade de envolvimento das pessoas a fim de gerar constantes atualizações no cadastro das informações para alcançar os resultados mencionados anteriormente. Talvez em função dessas dificuldades, apenas 5% das empresas de transporte rodoviário de carga utilizam roteirizadores (Confederação Nacional dos Transportes apud Lopes e Melo, 2003).

### 3. Análise da Base de Dados

Para a realização deste trabalho, o grupo teve acesso a base de pedidos no 1º Semestre de 2016. Trata-se de uma base extensa e detalhada, que continha dados que a própria companhia usava para roteirização. Os dados constituintes dessa base de dados eram os seguintes: data de expedição do pedido (dia e horário), data de entrega prevista, data de entrega efetiva, estado, cidade e CEP, tanto do local de partida (um dos CDs utilizados pela companhia), quanto do local de entrega. A base trazia também o tipo de carga – leve ou pesada, sendo que as cargas leves eram aquelas cujo peso bruto não ultrapassava 30 kg - quantidade de itens, o valor da nota fiscal que acompanhava o produto, seu peso bruto, bem como seu peso cubado.

A base que foi passada ao grupo não trazia a descrição do produto em si, bem como não continha dados pessoais e bancários do adquirente do pedido.

A seguir são dispostos gráficos que procuram sintetizar os dados mais importantes e auxiliam a entender o operacional da companhia.

Primeiramente, analisou-se a distribuição das entregas realizadas na cidade de São Paulo, dividindo-as por região, como é possível observar no gráfico a seguir.

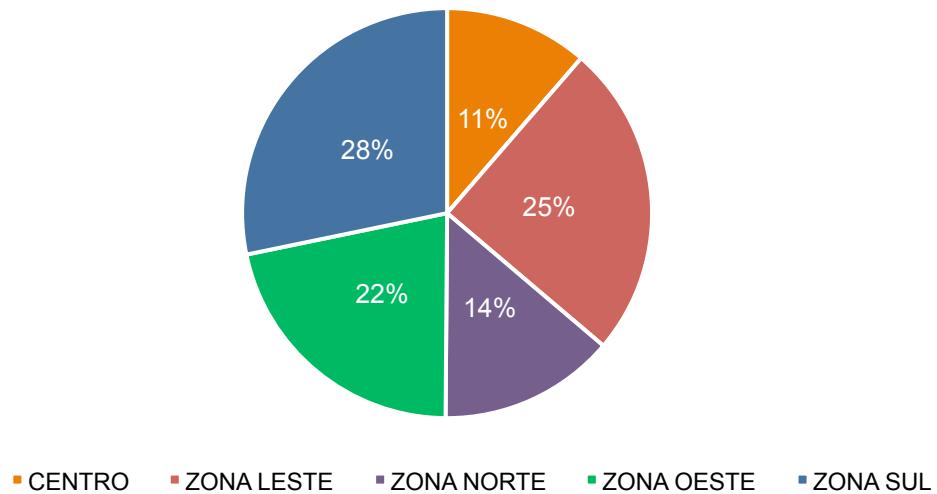


Figura 1 - Distribuição das entregas por região da cidade de São Paulo

Nota-se que a região da cidade de São Paulo com maior concentração de entregas é a Zona Sul, seguida por Zona Leste e Zona Oeste, respectivamente. É possível observar também que a Zona Norte e a região Central concentram um número de entregas bastante inferior quando comparadas às demais regiões.

Em se tratando da Região Metropolitana de São Paulo, observa-se, na Tabela 2, São Paulo e as 20 maiores cidades em número de entregas realizadas pelo e-commerce da empresa no 1º Semestre de 2016.

Região de São Paulo	Total de Entregas
São Paulo	300.392
Guarulhos	23.530
São Bernardo do Campo	18.714
Osasco	16.474
Santo André	15.473
Barueri	11.032
Carapicuíba	8.323
Mogi das Cruzes	5.929
Cotia	5.656
Mauá	5.519
São Caetano do Sul	5.379
Taboão da Serra	4.907
Santana de Parnaíba	4.746
Diadema	4.690
Suzano	3.396
Itapevi	3.229
Itaquaquecetuba	2.737
Jandira	2.349
Ribeirão Pires	2.057
Ferraz de Vasconcelos	1.851
Itapeveri da Serra	1.626

Tabela 2 - As 20 maiores cidades da Região Metropolitana de São Paulo, em número de entregas

Nota-se, a partir da tabela, que as cidades de Guarulhos, São Bernardo do Campo, Osasco, Santo André e Barueri possuem um número de entregas bastante relevante na operação da empresa.

Analisa-se também como se comportam as entregas de acordo com o dia da semana, como é possível observar no gráfico a seguir.

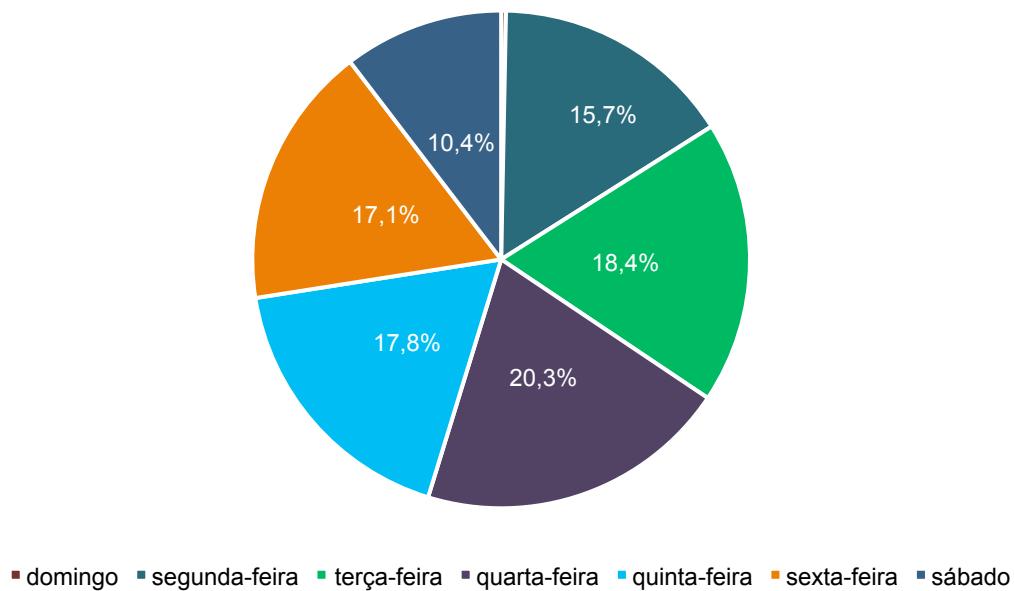


Figura 2 - Entregas por dia da semana

A partir do gráfico acima, observa-se que o dia com maior concentração de entregas é a quarta-feira. No entanto, deve-se tomar cuidado ao observar esses dados, pois a base obtida contempla todas as entregas do 1º semestre de 2016, fato que pode enviesar os resultados, devido a influência de feriados ao longo dos meses, uma vez que podem haver dias da semana com maior ocorrência na base de dados.

Uma outra análise feita foi em relação ao tipo da entrega realizada. Como foi dito anteriormente, as cargas são classificadas em leve ou pesada, sendo que as cargas leves eram aquelas cujo peso bruto não ultrapassava 30 kg. Sendo assim, como já era esperado, há uma grande predominância de produtos classificados como leve. No gráfico abaixo, é possível visualizar a distribuição das entregas, divididas entre leve e pesada.

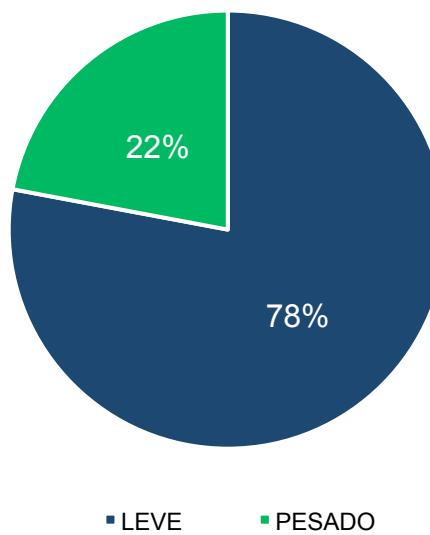


Figura 3 - Distribuição das entregas por tipo (Leve e Pesada)

Posteriormente, analisaram-se algumas correlações, como, por exemplo, o número de entregas efetuadas por região da cidade de São Paulo, de acordo com o dia da semana.

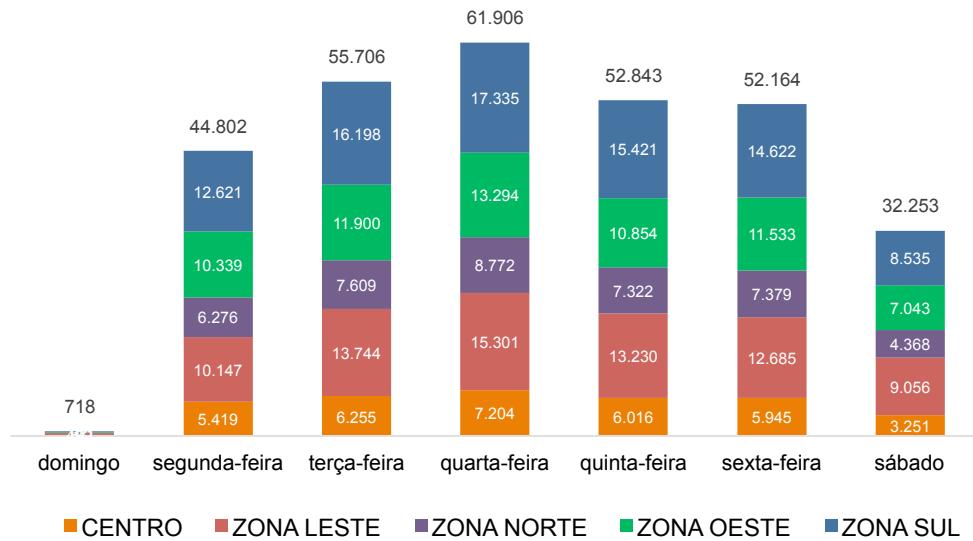


Figura 4 - Entregas por região e dia da semana

Analisou-se também, como se comportam as entregas dos produtos leve e pesado de acordo com o dia da semana, como é possível observar no gráfico a seguir.

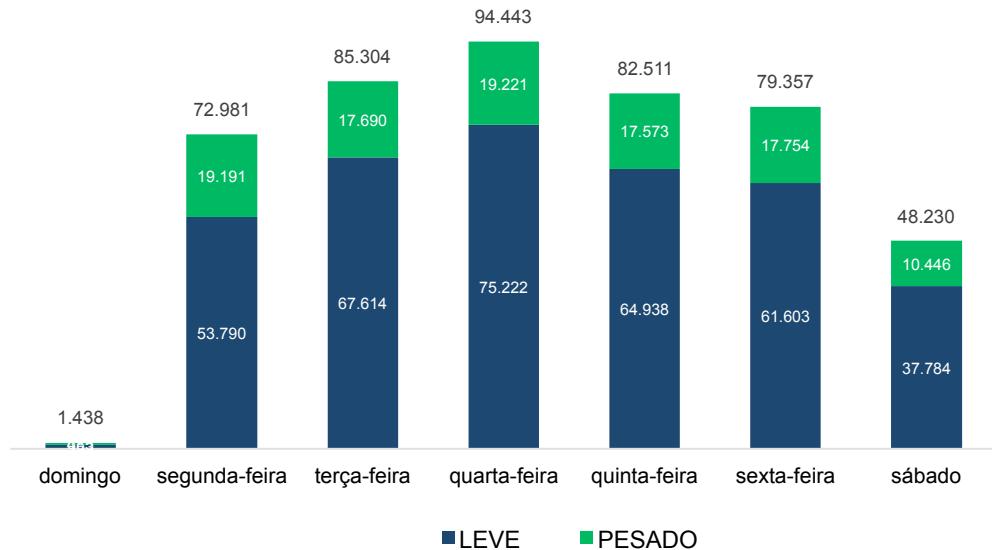


Figura 5 - Entregas por tipo (Leve e Pesada) e dia da semana

Nos gráficos abaixo, é possível observar o número de entregas consolidado nos meses de Janeiro a Junho de 2016, com a visão da distribuição entre as diferentes regiões da cidade de São Paulo e, também, divididos entre o tipo de carga entregue.

Nota-se, por exemplo, que o mês Abril de 2016 concentra um maior número de entregas devido a um maior número de vendas.

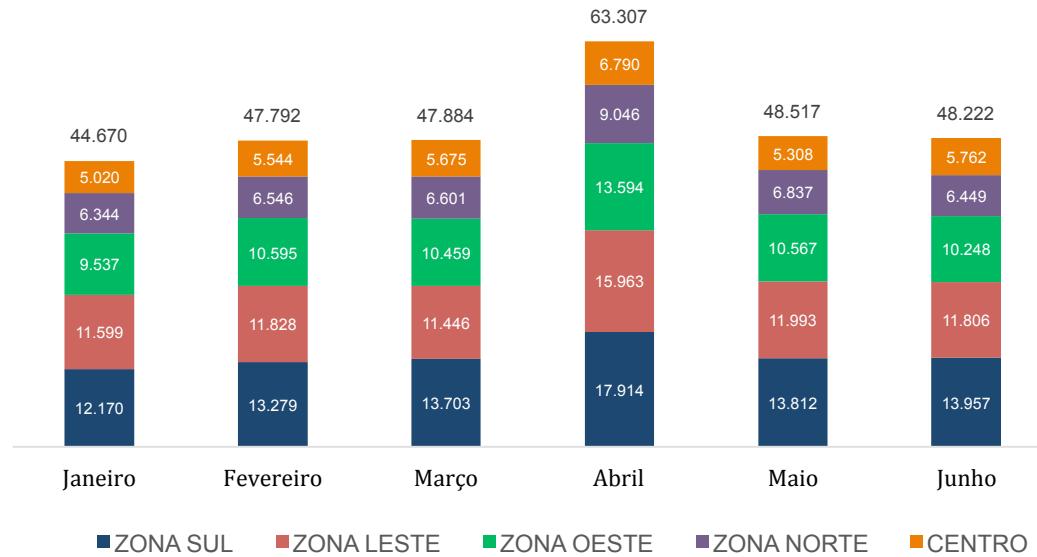


Figura 6 - Entregas por Região e mês

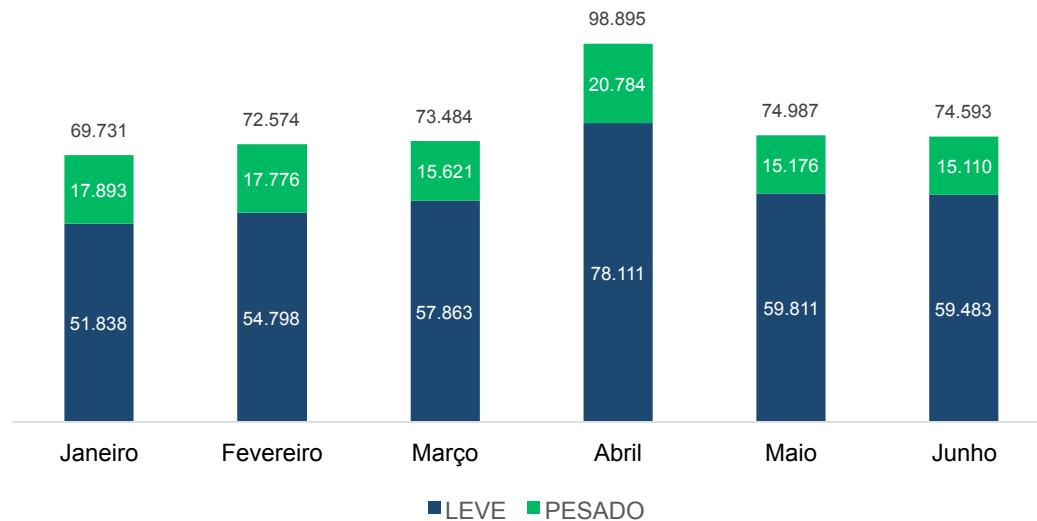


Figura 7 - Entregas por tipo (Leve e Pesada) e mês

Nos gráficos abaixo, é possível observar o comportamento das entregas realizadas dia-a-dia, entre os meses de Janeiro a Junho de 2016. Nota-se, principalmente, um grande pico de entregas no mês de Abril, fato que, como já foi dito anteriormente, ocorreu devido a uma ação especial de vendas.

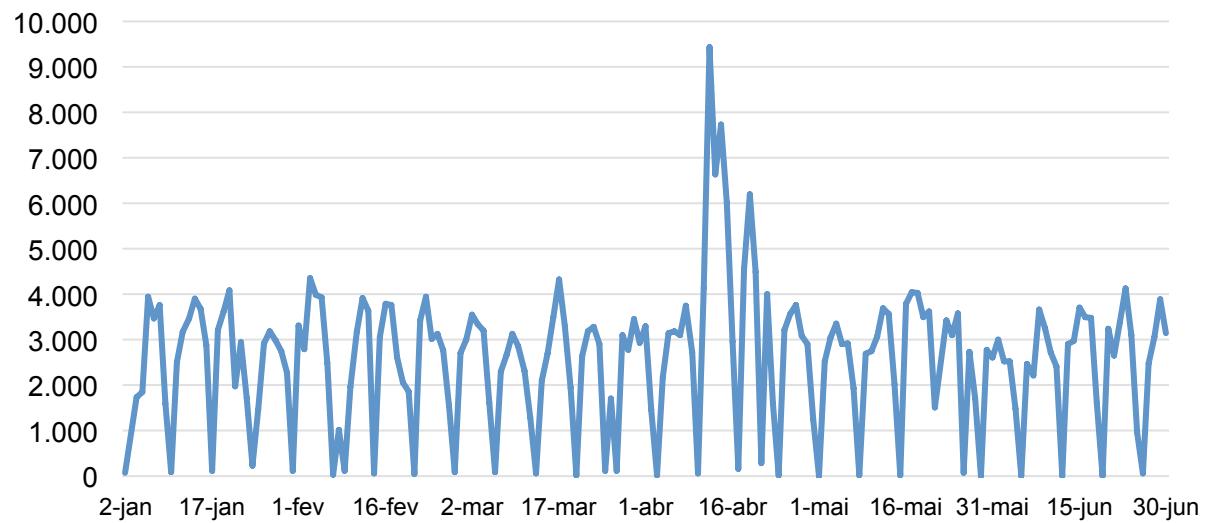


Figura 8 - Histograma de entregas no mês de Janeiro a Junho

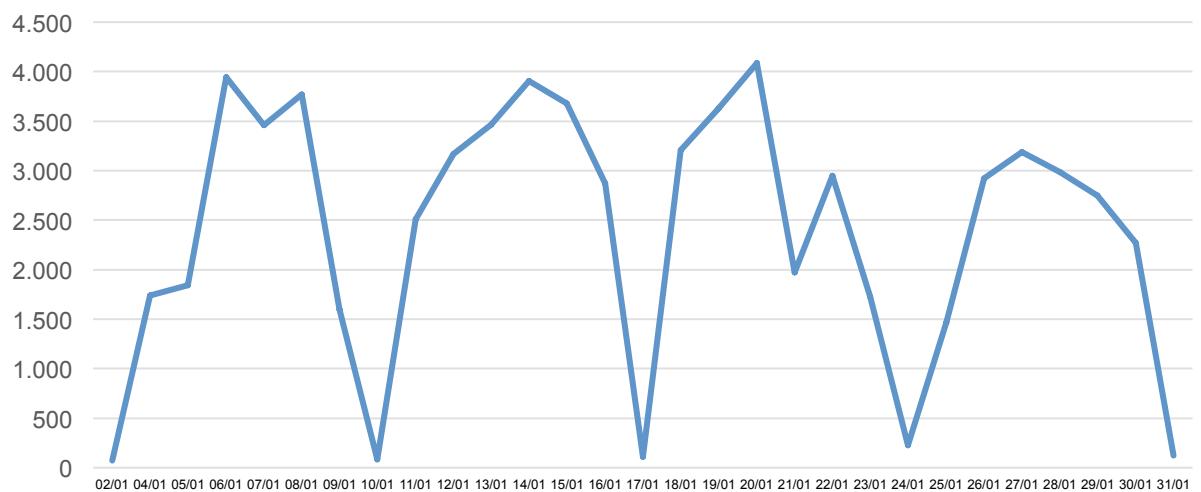


Figura 9 - Histograma de entregas no mês de Janeiro

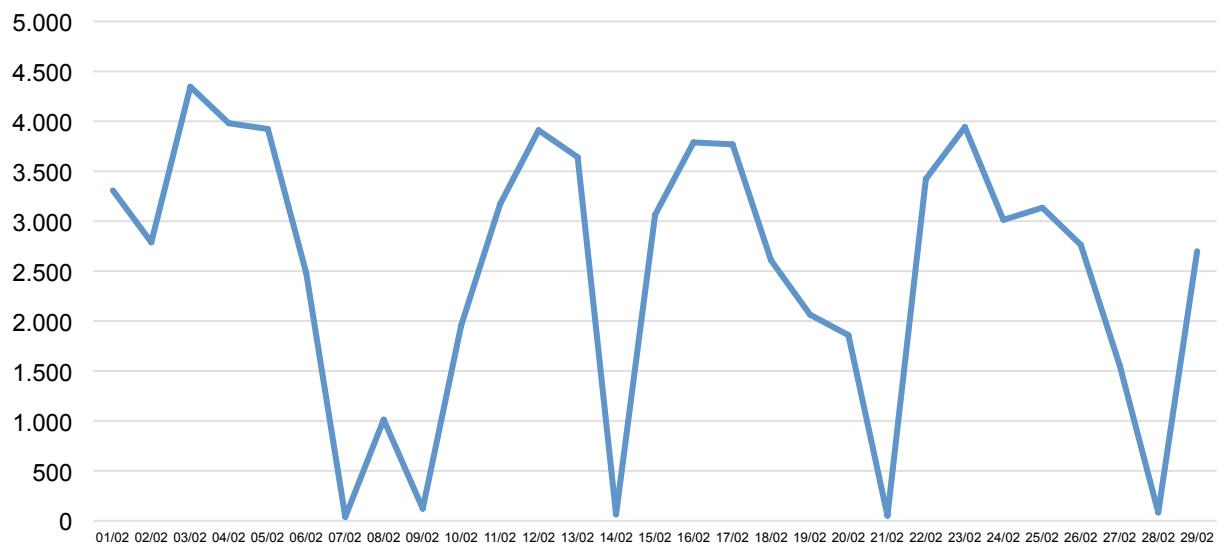


Figura 10 - Histograma de entregas no mês de Fevereiro



Figura 11 - Histograma de entregas no mês de Março

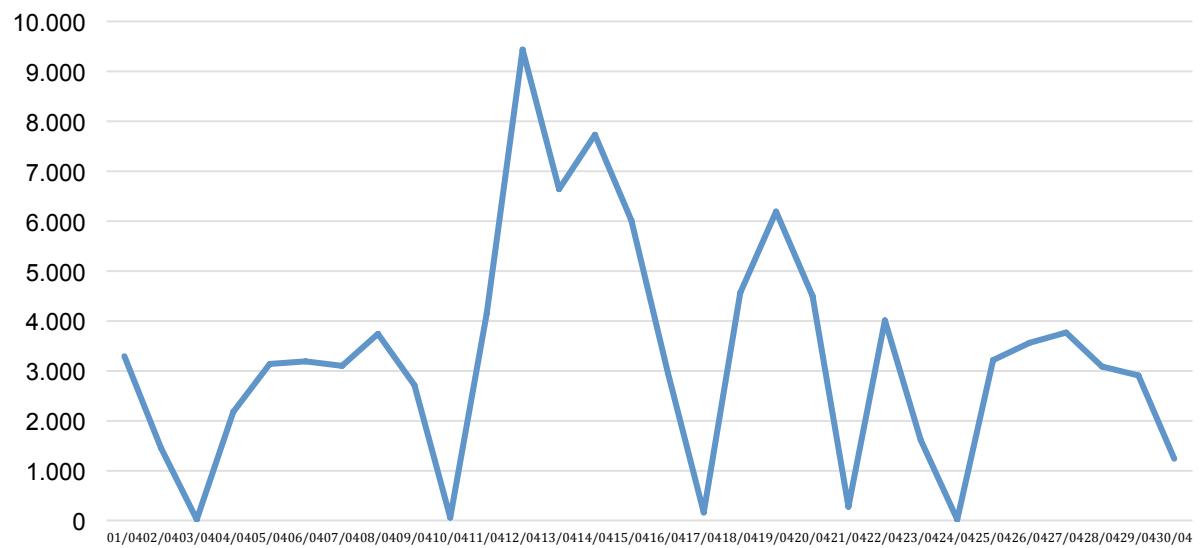


Figura 12 - Histograma de entregas no mês de Abril

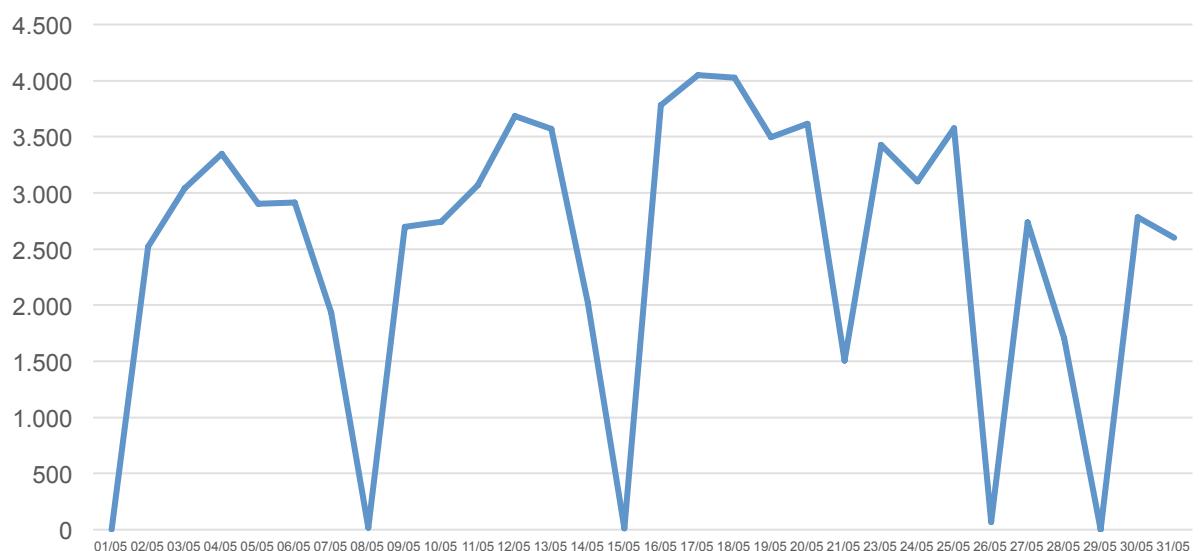


Figura 13 - Histograma de entregas no mês de Maio

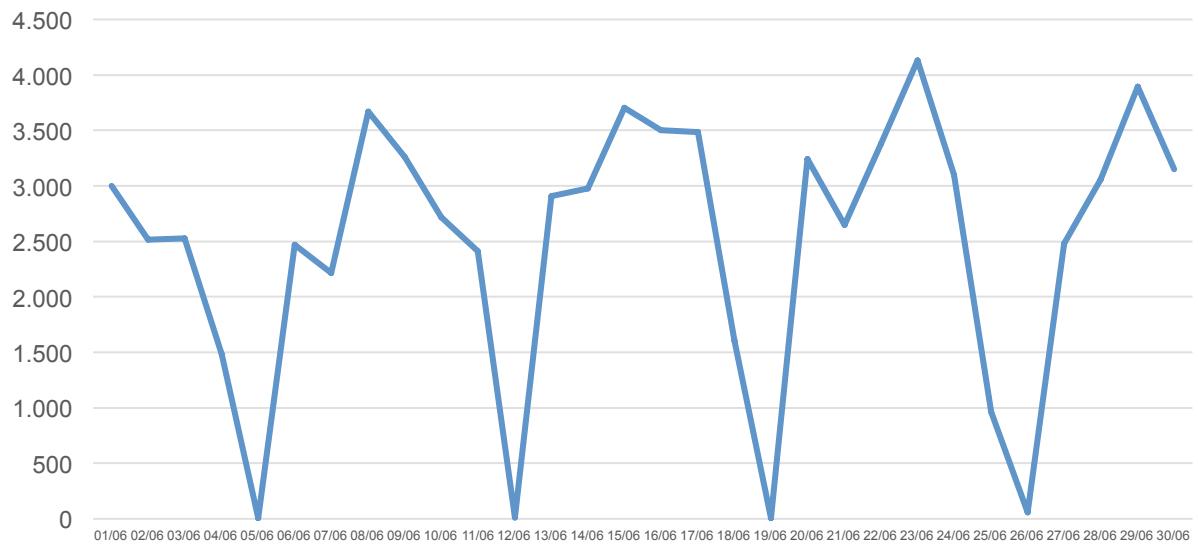


Figura 14 - Histograma de entregas no mês de Junho

Vale ressaltar que a análise mostrada nesse capítulo foi conduzida pelo grupo com o intuito de entender a dinâmica das entregas da empresa e selecionar uma semana que tenha comportamento uniforme, ou seja, sem ter influência de fatores extraordinários como datas comemorativas, onde as vendas tendem a aumentar significativamente.

#### 4. Metodologia

Para solucionar o problema proposto pelo grupo, adotou-se os custos logísticos como critério exclusivo de escolha do tipo de frota a ser utilizada, pois outro critério passível de ser utilizado era o nível de serviço, porém, devido à falta de dados relativo a esse critério nos diferentes tipos de frota, o grupo desconsiderou esse critério.

Como dito anteriormente, passa a ser necessário o cálculo do custo de cada modalidade de entrega. Em se tratando da frota própria, os custos são oriundos do tamanho da frota e da equipe de motoristas e ajudantes necessários. Com isso, o uso de um roteirizador auxiliaria no cálculo da quantidade de rotas e distâncias percorridas por cada caminhão chegando, portanto, aos custos atrelados a cada um. Porém, em razão dos roteirizadores serem caros e de difícil acesso, o grupo optou por criar um programa que pudesse roteirizar as entregas e informar distâncias e o número necessário de caminhões.

O programa criado pelo grupo, que será detalhado na seção seguinte, explora principalmente dois algoritmos para encontrar as melhores rotas: *K-means*, algoritmo de clusterização, e o vizinho mais próximo (ou *nearest neighbor*, em inglês), heurística de roteirização.

Após a execução do programa, com o auxílio de uma planilha de custos da Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT), o grupo chegou a um custo por caminhão e, consequentemente, um custo diário. Somando-se os seis dias de entrega em uma semana, tem-se o custo semanal e, ao multiplicar pelo número de semanas (quatro), obtem-se o custo mensal.

Finalmente, por meio de planilhas de *players* do mercado recebidas, os custos do *courier* foram calculados segundo o destino e o peso de cada produto. Ao somar os custos de cada produto, chega-se ao valor diário e, repetindo o processo explicado anteriormente, obtem-se o valor mensal que será comparado com o custo da frota própria.

As comparações feitas serão feitas não só para o valor total, mas também um custo de cada rota para saber quais rotas (e, consequentemente, quais regiões) é mais viável entregar com frota própria ou terceirizada.



## 5. O Programa Criado

Criado em Virtual Basic no Microsoft Office, o código criado pelo grupo terá os algoritmos e fórmulas explicados nesta seção bem como as premissas adotadas, simplificações feitas e, finalmente, o código será apresentado e explicado.

### 5.1. Algoritmos Utilizados

Para a criação de um programa que estabelecesse os *clusters* e as rotas de cada dia, foram necessários alguns algoritmos e fórmulas conhecidos com o intuito de achar uma resposta ideal e o mais fiel à realidade.

Nos próximos itens desse capítulo, serão apresentados o algoritmo de *K-means* e a o algoritmo de vizinho mais próximo.

Além dos algoritmos mencionados, no Anexo I, encontra-se a explicação da fórmula de Haversine que foi utilizada para calcular as distâncias. Vale ressaltar que a fórmula leva em consideração a curvatura da Terra no cálculo das distâncias entre dois pontos. Neste caso, como trata-se de uma área pequena, o raio de curvatura do planeta Terra não influi na distância, no entanto, mesmo assim, utilizou-se a fórmula pela facilidade do cálculo de distâncias a partir das coordenadas de um ponto.

#### 5.1.1. O Algoritmo *K-means*

O *K-means* é um dos algoritmos não-supervisionados mais simples que resolve o problema de *clustering*. Proposto por J. MacQueen em 1967, o algoritmo de Análise de Agrupamento *K-means* (ou algoritmo das k-médias) é um dos mais conhecidos e utilizados, além de ser o que possui o maior número de variações.

O procedimento segue um jeito fácil e intuitivo de classificar um conjunto de dados em um certo número de grupos fixados previamente. O algoritmo inicia com a escolha dos k elementos que formarão as sementes iniciais, também chamadas de

centroides.

Esses centroides devem ser colocados em lugares bem escolhidos, pois locais diferentes produzem resultados diferentes. Portanto, a melhor escolha é colocá-los o mais longe possível uns dos outros.

A seguir, é preciso associar cada dado do espaço de entrada ao centroide mais próximo. Quando não há mais dados para serem associados, o primeiro passo acaba e um agrupamento inicial está feito.

Agora, é necessário recalcular  $k$  novos centroides como sendo os pontos mais próximos de cada *cluster* resultante do passo anterior. Depois de feitos os cálculos, uma nova associação dos dados ao centroide mais próximo é realizada. Um laço de repetições é gerado.

Como resultado desse laço, pode-se notar que os  $k$  centroides mudam sua localização passo a passo até que nenhuma mudança seja feita, ou seja, até que os centroides parem de se mover.

Finalmente, a meta desse algoritmo é minimizar uma função objetivo, nesse caso uma função de erro quadrática. A função objetivo

$$J = \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^n \|x_i^{(j)} - c_j\|^2$$

onde  $\|x_i^{(j)} - c_j\|$  é uma medida de distância escolhida entre o ponto  $x_i$  e o centro do grupo  $c_j$ , é um indicador da distância entre os  $n$  dados do espaço de entrada e os seus respectivos centros de grupos.

Resumidamente, o algoritmo segue os passos:

1. Coloque  $k$  pontos no espaço representado pelos dados que estão sendo agrupados. Esses pontos representam os centroides iniciais de cada grupo;
2. Associe cada dado ao grupo que tenha o centroide mais próximo;
3. Quando todos os dados tiverem sido associados, recalcule as posições dos  $k$  centroides;
4. Repita os passos 2 e 3 até que os centroides parem de se mover.

Isso produz uma separação dos dados em grupos dos quais a métrica a ser minimizada pode ser calculada.

O algoritmo de *K-means* é bastante escalar e confiável, dentre suas vantagens podemos mencionar:

- Todos os objetos de informação são automaticamente atribuídos a um grupo;
- A localização inicial do centroide do grupo pode variar, o que permite estabelecer condições iniciais de dependência.

Porém apresenta alguns problemas, a saber:

- Exige que as variáveis sejam numéricas ou binárias e freqüentemente aplicações envolvem dados categorizados, neste caso, uma alternativa é converter os dados categorizados em valores numéricos ou utilizar uma das muitas variações do método;
- Antes do algoritmo ser iniciado tem de ser escolhido o número de grupos;
- Todos os objetos de informação são forçados a pertencer a um grupo;
- É sensível a valores *outliers*, um único objeto com valor muito extremo pode modificar, substancialmente, a distribuição dos dados.

### 5.1.2. O Algoritmo de Vizinho Mais Próximo

O algoritmo do vizinho mais próximo se trata de uma heurística, ou seja, procedimentos para a resolução de um problema, por meio de uma abordagem intuitiva, na qual a estrutura de problema possa ser interpretada e explorada de forma inteligente, para a obtenção de uma solução adequada, entretanto não garante a determinação da solução ótima e, muitas vezes, nem a variação em relação à ótima. Além disso, trata-se de uma resolução para cada problema específico.

A heurística em questão é utilizada para resolver um problema do tipo caixeiro viajante, onde um homem deverá passar por um certo número de residências para vender seus produtos. Neste caso, ao invés de um caixeiro viajante, é um caminhão que deverá passar nas casas, entregando as mercadorias adquiridas pelos clientes

dias antes.

O procedimento adotado pela heurística é sempre alocar o ponto mais próximo a um ponto anterior em uma rota. Com isso, a distância a ser percorrida será sempre a menor disponível. Tal procedimento é realizado enquanto houver pontos a serem alocados.

Como dito anteriormente, uma heurística nem sempre traz a resposta ótima de um problema e, por isso, além de proceder um vizinho mais próximo, uma permutação entre os pontos na rota é feita para encontrar uma solução que, de fato, seja melhor que a anterior.

## 5.2. Premissas Adotadas

Primeiramente, a primeira simplificação que o grupo adotou foi que os caminhões de entrega fazem apenas entrega, ou seja, a logística reversa não é considerada para efeitos desse projeto, pois não faz parte do escopo. É importante ressaltar que a logística reversa é de suma importância, pois é um custo adicional para a empresa que tem de arcar e não considerado no preço do frete quando o cliente faz a compra e, além disso, é necessário que a empresa tenha espaço disponível para recolher produtos e levar ao Centro de Distribuição enquanto faz outras entregas.

Uma outra simplificação que foi feita foi a consideração apenas das entregas realizadas. Na planilha fornecida pela empresa, alguns dos pedidos estavam marcados com status de endereço não encontrado, ninguém presente para o recebimento, entre outros. Esta simplificação foi feita com intuito de facilitar a criação do problema, pois os eventos mencionados acima ocorrem de maneira imprevisível.

Além das simplificações acima, alguns pontos foram retirados da base, pois não tiveram correspondência com a base de CEPs e coordenadas usada (Base do Centro de Estudos da Metrópole (“CEM”)). Com isso, faltaram aproximadamente 10 mil CEPs sem correspondência e aproximadamente 50 mil pontos sem entregas, tornando difícil a procura das coordenadas corretas em outros meios.

Em razão da privacidade de seus clientes, a empresa forneceu apenas o CEP

correspondente de cada pedido, levando a mais uma simplificação adotada. A base utilizada do CEM informa diversas coordenadas para cada CEP de acordo com a numeração e o lado da rua onde se encontra o ponto de entrega e, por isso, não é possível determinar a coordenada exata de um ponto de entrega, apenas uma aproximação. Vale ressaltar que o grupo optou por fazer uma média das coordenadas quando havia mais de uma por CEP.

Uma outra simplificação do problema é a consideração de linhas retas entre dois pontos, algo que de fato é irreal, pois os caminhões percorrem os traçados delimitados pelas ruas, avenidas e rodovias. Tal simplificação afeta os resultados do programa criado uma vez que a menor distância entre dois pontos é uma linha reta, mas não são as distâncias reais e, portanto, as distâncias são todas subdimensionadas.

Para a obtenção de boas respostas e que fossem o mais fiel a realidade, o grupo entrou em contato com alguns funcionários da empresa que forneceram dados importantes relativos aos veículos, entregas e funcionários.

Para fazer as entregas, a empresa possui veículos do tipo leve e pesado, mas, para efeito deste trabalho, foi considerado o uso apenas de pesado, pois são veículos com capacidade para entregar desde livros até geladeiras e para facilitar a criação do programa. Os veículos em questão têm capacidade para 1.600 kg e, de acordo com o baú, sua capacidade volumétrica varia de 10 a 12 m<sup>3</sup>.

A posição do centro de distribuição é algo de extrema importância na estratégia de uma empresa. Ele deve estar relativamente perto de grande parte de suas entregas, ou simplesmente, em uma área que garanta um desconto nos impostos pago pela companhia. O centro de distribuição da empresa fica próximo do centro da cidade de São Paulo.

Quanto à velocidade desenvolvida pelos caminhões, nas rodovias, os veículos atingem uma velocidade média de 55 km/h enquanto que na cidade, a velocidade média é de 18 km/h desconsiderando as paradas para entregar os produtos.

Uma outra premissa estabelecida foi o trecho de rodovia percorrido, pois, sem um mapa e sem uma rota original, é difícil dizer exatamente qual o trecho que o caminhão percorre na rodovia e qual o trecho que percorre na cidade. Por isso,

determinou-se que 15 km são percorridos na rodovia, valor esse determinado à partir da distância do centro de distribuição até a entrada na RMSP.

Outro tempo a ser considerado é o tempo que os motoristas levam para entregar o produto aos clientes. Segundo a prática da empresa, o tempo necessário para entregar um produto chamado de leve (abaixo de 30 kg) é de 7 minutos enquanto, para um produto pesado (acima de 30 kg), o tempo é de 17 minutos.

A última premissa adotada foi o tempo que um caminhão fica na rua realizando as entregas. Segundo as leis trabalhistas, um funcionário pode trabalhar oito horas por dia.

## 6. Síntese do Programa

### 6.1. Parâmetros para o Programa

Primeiramente, antes de rodar o programa, deve-se entrar com os *inputs* determinados pelo operador. Neste caso, entra-se com as coordenadas dos pontos de entrega, o peso e volume que sera deixado em cada um dos pontos e as premissas operacionais da empresa na aba “Painel de Controle” do Excel, conforme exemplificado na Figura 15.

Prestissas						
	Pontos	X	Y	Peso	Volume	Clusters
Número de Pontos	1	-23,5957	-46,7344	1,0	0,6	12
Peso Máximo por veículo	2	-23,6032	-46,7334	0,3	0,2	13
Limite do Leve p/ Pesado	3	-23,5957	-46,7344	1,0	0,6	12
Volume Máximo por veículo	4	-23,6032	-46,7334	0,3	0,2	13
Tempo de Entrega - Leves	5	-23,5957	-46,7344	1,0	0,6	12
Tempo de Entrega - Pesados	6	-23,6032	-46,7334	0,3	0,2	13
Velocidade média Rodovia	7	-23,5957	-46,7344	1,0	0,6	12
Velocidade média Cidade	8	-23,6032	-46,7334	0,3	0,2	13
Turno CLT	9	-23,5957	-46,7344	1,0	0,6	12
Horas Extras diárias máximas	10	-23,6032	-46,7334	0,3	0,2	13
# Clusters	11	-23,5957	-46,7344	1,0	0,6	12
# de iterações	12	-23,6032	-46,7334	0,3	0,2	13
	13	-23,5957	-46,7344	1,0	0,6	12
	14	-23,6032	-46,7334	0,3	0,2	13
	15	-23,5957	-46,7344	1,0	0,6	12
	16	-23,6032	-46,7334	0,3	0,2	13
	17	-23,5957	-46,7344	1,0	0,6	12
	18	-23,6032	-46,7334	0,3	0,2	13
	19	-23,5957	-46,7344	1,0	0,6	12
	20	-23,6032	-46,7334	0,3	0,2	13

Figura 15 - Painel de Controle do programa

Assim, após rodar o programa, ou apertar o botão azul presente na figura, este fornecerá os resultados para tal conjunto de coordenadas. Porém, antes de analisar os resultados é importante entender mais profundamente o funcionamento do programa para melhor interpreta-los.

Vale a pena mencionar que para esta etapa é melhor estar familiarizado com os algoritmos e fórmulas descritas acima.

## 6.2. Determinação do Número de *Cluster* e Centroides Iniciais

Inicialmente, são definidas as variáveis e em seguida os *inputs* inseridos na aba “Painel de Controle” são alocados em suas respectivas variáveis para que então a metodologia e os cálculos do programa possam ser iniciados. Para facilitar o decorrer do programa, todas as distâncias entre os pontos foram previamente calculadas pela fórmula de Haversine e alocadas em uma matriz chamada “Distâncias”.

Na determinação de um número inicial de *clusters* o processo escolhido foi o seguinte: Determina-se o ponto mais longe do centro de distribuição (CD) e, a partir deste ponto, é realizado o algoritmo de vizinho mais próximo até que este conjunto de pontos, ou *cluster*, tenha atingido o limite máximo para peso, volume ou tempo, e, portanto, nenhum outro ponto é capaz de entrar no conjunto sem que este ultrapasse os limites determinados nas premissas do programa. Com este *cluster* “fechado”, procura-se um novo ponto mais longe do CD que não esteja alocado no *cluster* anterior, e assim o processo se repete até que todos os pontos estejam alocados e, consequentemente, o número de *clusters* determinado.

Com esta rota inicial traçada, calcula-se o tempo de percurso dentro do *cluster* (rota do caminhão excluindo a ida e a volta para o CD), sem considerar o tempo de descarga do produto. Esse tempo será então dividido por “n-1” sendo “n” o número de pontos do *cluster* inicial, para assim obter um tempo médio de percurso para cada ponto que não seja semente. O tempo médio se trata de uma estimativa de tempo calculada que cada ponto deverá agregar ao tempo de percurso de sua rota ao ser alocado em um *cluster* posteriormente.

Finalmente, calcula-se o tempo porcorrido entre o CD e os ponto inicial e final da rota, obtendo assim uma estimativa inicial do tempo de ida e volta ao CD para cada *cluster*, que será utilizado na iteração seguinte.

Em seguida, calcula-se o ponto médio de cada cluster, ou seja, o ponto cuja a soma das distâncias para os demais pontos do cluster tem o menor valor. Estes pontos médios serão considerados os novos centroides, ou “sementes”, dos *clusters* para a primeira iteração do programa.

De maneira resumida, o programa calculou até o momento um número de *cluster* (nc) que satisfaz a quantidade de pontos de entrega, um centroide para cada *cluster*, ou seja, “nc” centroides, uma estimativa de tempo de ida e de volta do CD para cada *cluster* e um tempo médio estimado de percurso que cada ponto atribuirá ao *cluster* quando entrar.

### 6.3. Aplicação do Algoritmo de *K-means* com Fatores Limitantes

Após as determinações das etapas iniciais é possível aplicar os conceitos do algoritmo de *K-means* no programa para encontrar os conjuntos de pontos que devem ser atendidos por cada caminhão visando minimizar as distâncias e, consequentemente, os tempos e os custos.

O próximo passo é, portanto, selecionar todos os pontos que não são centroides e obter as distâncias de cada um deles até os centroides, selecionando então os dois centroides mais próximos de cada ponto. A partir desta seleção, é calculada a distância de cada ponto até o *cluster* mais próximo ( $D_1$ ) e até o segundo cluster mais próximo ( $D_2$ ). Em seguida, os pontos são ordenados pela razão  $D_2/D_1$  de maneira que o ponto com maior  $D_2/D_1$  tenha prioridade em ser alocado em um *cluster* já que este ponto está muito mais próximo do primeiro do que de qualquer outro *cluster*.

Em sequência, é realizada a alocação de cada ponto com a semente selecionada para a então formação do *cluster*. Para ser alocado em um *cluster* o ponto não deve ter peso, volume ou tempo médio de percurso somado ao tempo de entrega maior do que tem disponível no *cluster*. Caso o ponto não entre no *cluster* do centroide mais próximo, este tentará entrar no *cluster* do segundo centroide mais próximo e, se mesmo assim este não for possível, o programa procura o *cluster* mais próximo do ponto que seja possível agregá-lo em sua rota. Lembrando que os pontos estão sendo alocados prioritariamente de acordo com a razão  $D_2/D_1$  descrita acima.

Com os pontos alocados em seus respectivos *clusters* o programa seleciona para cada *cluster* o ponto mais próximo ao CD e a partir deste começa a traçar a

rota do caminhão baseada no algoritmo de vizinho mais próximo. Assim, com as rotas determinadas, é possível então recalcular as variáveis de iteração, que são as mesmas calculadas anteriormente para a execução do algoritmo *K-means*: Tempo de ida e de volta do CD baseada nos pontos inicial e final de cada rota, ponto médio de cada *cluster* para ser o centroide da próxima iteração e o tempo médio de percurso que cada ponto agrega ao *cluster* que entrar também na próxima iteração.

#### 6.4. Iterações e Método de Parada

Com as novas variáveis de iteração, o programa então se repete, calculando outra rota e consequentemente outros valores para as variáveis de iteração para a próxima repetição. Desta maneira, o programa roda consecutivamente até encontrar o conjunto de pontos que são alocados em *clusters* resultarem em uma rota para cada caminhão de menor tempo e distância que as demais calculadas. Para se chegar nesse resultado, o algoritmo considera dois critérios de parada:

1. Centroides da iteração anterior igual aos centroides da iteração atual. Nesta condição de repetição dos centroides, o programa vai acabar recalculando as mesmas rotas e, portanto, os mesmos valores para as variáveis de iteração. Sendo assim, o programa convergiu através do algoritmo de *K-means* para uma solução que trará uma opção de custos menores do que as demais encontradas pelo programa.
2. Após um número pré-determinado de iterações, o programa seleciona o melhor resultado encontrado até o momento. Por se tratarem de estimativas para a próxima iteração, as variáveis de parada podem influenciar o algoritmo de *K-means* a não convergir, isso se deve aos critérios de limite (peso, volume e tempo) impostos no programa, que fazem com que um *cluster* rejeite certos pontos em sua rota que tenham seus tempos superestimados pela iteração anterior. Mesmo sem convergir, o programa consegue encontrar resultados bastante satisfatórios para o problema devido à metodologia adotada por este e o

alto número de iterações realizadas.

## 6.5. Roteirização Final e Resultados

Finalizadas as iterações e alocados todos os pontos em seus respectivos *clusters* é então realizada uma nova e última roterização. Inicialmente, a roterização foi feita encontrando-se o ponto mais próximo ao CD e, em seguida, aplicou-se o algoritmo de vizinho mais próximo. No entanto, para esta última fase do programa, é possível diminuir ainda mais os tempos e as distâncias totais para chegar à uma solução ainda melhor. Trata-se de uma permutação entre os pontos de um mesmo *cluster* para verificação de que o resultado não possa ser ainda melhor se os pontos não estivessem em uma ordem diferente da atual definida pelo vizinho mais próximo. Caso seja encontrada uma solução melhor, os pontos trocam de posição na rota e a permutação continua até que sejam analisadas todas as opções. Este processo não está presente dentro das iterações por se tratar de um processo lento e bastante exigente para o programa, principalmente quando há uma quantidade elevada de pontos.

Assim, a última tarefa do programa é imprimir os resultados para serem analisados.

## 7. Análise de Resultados

Com uma base de 180 dias de entregas da empresa faz-se necessária a escolha de alguns dias para analisar as opções logísticas da empresa.

A data escolhida foi a semana do dia 28 de março até 2 de abril, pois é uma semana com influência praticamente nula das principais datas comemorativas do primeiro semestre (Dia das Mães e Dia dos Namorados).

Após o programa ser rodado uma primeira vez, observou-se um grande número de *clusters* com um número mínimo de pontos, por exemplo, havia um dia com apenas uma entrega em Biritiba-Mirim que exigia um caminhão só para realizar essa entrega. Então foi necessário buscar uma nova estratégia que maximizasse o número de entregas, pois é inviável um caminhão, ao longo de um dia, fazer apenas uma entrega.

A primeira medida adotada pelo grupo foi a determinação de raios máximos de entrega, ou seja, limitar a entrega pela distância, em linha reta, do centro de distribuição até o ponto final. Dessa maneira, para cada dia delimitou-se raios de 25 km, 35 km, 45 km e 55 km.

Foi estabelecido 25 km como sendo 10 km a mais da distância do centro de distribuição até a entrada na RMSP (15 km) e 55 km como o ponto mais distante da RMSP em relação ao centro de distribuição. Quanto aos outros raios, eles foram escolhidos como medidas intermediárias uniformes entre os dois extremos.

Com isso, após rodar o programa para esses seis dias mencionados anteriormente, o grupo obteve os seguintes resultados mostrados de forma gráfica na página a seguir. Para cada grupo de distâncias, as barras mostram o número de entregas diárias enquanto as linhas mostram o número de *clusters* necessários para realizar as entregas.

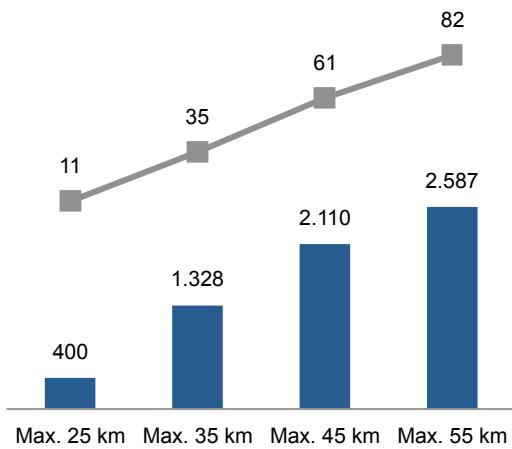


Figura 16 - Entregas do dia 28/03

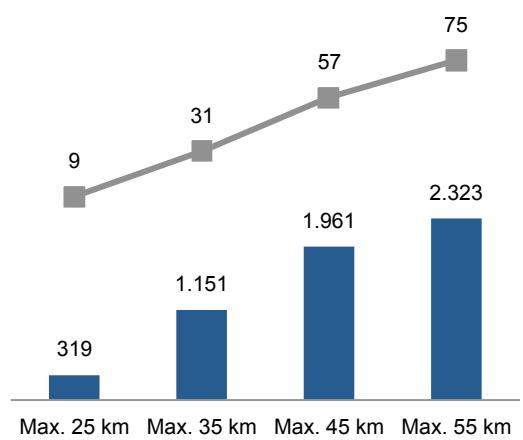


Figura 17 - Entregas do dia 29/03

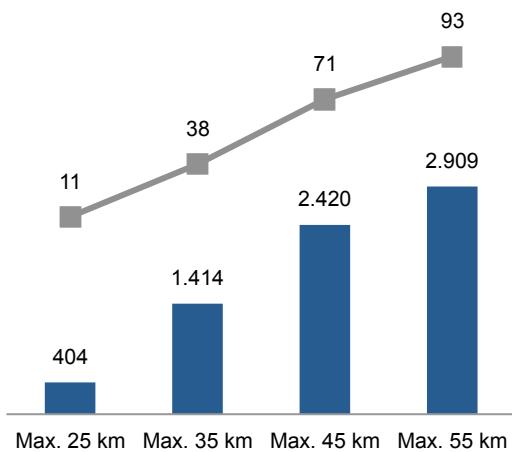


Figura 18 - Entregas do dia 30/03

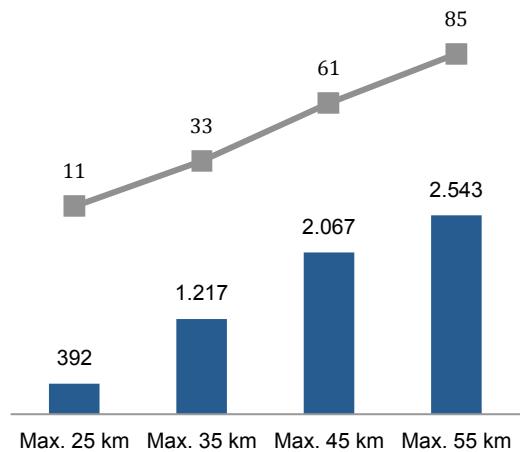


Figura 19 - Entregas do dia 31/03

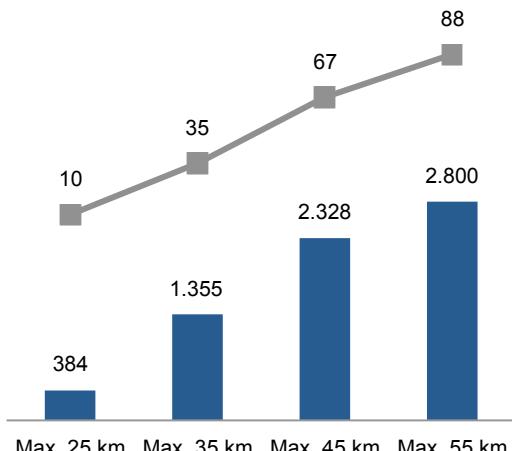


Figura 20 - Entregas do dia 01/04

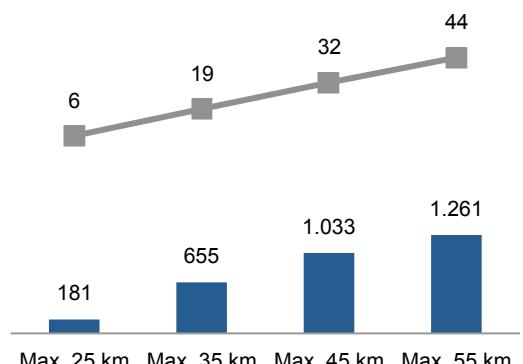


Figura 21 - Entregas do dia 02/04

Vale ressaltar que, na maioria dos casos, um caminhão executa a rota de apenas um *cluster*, porém, caso haja duas rotas cuja soma dos tempos de percurso seja menor que 8 horas (turno CLT mais horas extras permitidas pela empresa), é melhor que esse caminhão execute duas rotas no mesmo dia.

Quanto as distâncias percorridas e tempos gastos por rota, conforme aumenta-se a distância máxima de entrega, os caminhões passam a percorrer distâncias totais médias superiores na mesma razão de aumento dos limites (10 km), enquanto o tempo não varia significativamente, pois o objetivo do programa criado é explorar até o limite a capacidade de cada caminhão.

As Tabelas 3 a 8 mostram, para cada dia simulado, as distâncias e tempos médios, as medianas, os máximos e os mínimos.

28/03	Max. 25 km		Max. 35 km		Max. 45 km		Max. 55 km	
	Distância (km)	Tempo (h)						
<b>Média</b>	59,1	7,1	74,1	7,7	81,6	7,6	90,0	7,7
<b>Mediana</b>	61,6	7,5	74,4	8,3	80,4	8,0	92,9	8,0
<b>Mínimo</b>	39,6	3,7	34,0	2,8	46,6	4,5	31,9	2,7
<b>Máximo</b>	69,5	8,7	97,6	9,1	108,8	9,2	123,8	9,2

Tabela 3 - Resultado da Simulação para o dia 28/03

29/03	Max. 25 km		Max. 35 km		Max. 45 km		Max. 55 km	
	Distância (km)	Tempo (h)						
<b>Média</b>	64,5	7,1	73,2	7,6	82,8	7,8	88,9	7,7
<b>Mediana</b>	65,2	7,0	75,7	8,3	85,2	7,8	88,7	8,1
<b>Mínimo</b>	51,6	5,0	35,7	3,6	53,0	5,4	46,1	4,5
<b>Máximo</b>	73,5	8,8	96,9	9,0	106,7	9,4	124,0	9,1

Tabela 4 - Resultado da Simulação para o dia 29/03

30/03	Max. 25 km		Max. 35 km		Max. 45 km		Max. 55 km	
	Distância (km)	Tempo (h)						
<b>Média</b>	60,4	7,2	69,9	7,5	81,0	7,7	88,8	7,8
<b>Mediana</b>	60,6	7,4	71,4	7,9	81,1	8,1	87,8	8,2
<b>Mínimo</b>	46,2	3,8	28,2	1,6	41,4	3,6	46,2	4,3
<b>Máximo</b>	72,8	8,9	96,0	9,0	107,8	9,1	122,7	9,1

Tabela 5 - Resultado da Simulação para o dia 30/03

31/03	Max. 25 km		Max. 35 km		Max. 45 km		Max. 55 km	
	Distância (km)	Tempo (h)						
<b>Média</b>	62,1	7,1	72,4	7,7	82,6	7,8	90,1	7,7
<b>Mediana</b>	60,4	6,9	71,6	8,1	84,8	8,1	88,7	7,9
<b>Mínimo</b>	46,8	3,8	55,4	5,1	54,0	5,4	58,5	3,4
<b>Máximo</b>	79,6	8,8	95,7	9,0	108,0	9,0	123,5	8,9

Tabela 6 - Resultado da Simulação para o dia 31/03

01/04	Max. 25 km		Max. 35 km		Max. 45 km		Max. 55 km	
	Distância (km)	Tempo (h)						
<b>Média</b>	59,8	6,9	71,2	7,6	82,0	7,7	89,5	7,8
<b>Mediana</b>	61,9	8,4	71,6	8,3	81,8	8,3	89,0	8,2
<b>Mínimo</b>	33,7	2,0	33,7	2,0	40,4	3,6	52,7	4,9
<b>Máximo</b>	73,4	9,0	102,9	8,9	111,9	9,4	124,6	9,5

Tabela 7 - Resultado da Simulação para o dia 01/04

02/04	Max. 25 km		Max. 35 km		Max. 45 km		Max. 55 km	
	Distância (km)	Tempo (h)						
<b>Média</b>	65,5	6,5	77,4	7,6	87,3	7,8	93,5	7,6
<b>Mediana</b>	68,0	6,9	76,8	8,4	87,8	7,9	92,0	7,9
<b>Mínimo</b>	41,2	2,2	60,2	4,0	57,8	5,0	62,1	2,5
<b>Máximo</b>	79,3	8,6	95,6	9,3	108,0	8,9	130,9	10,1

Tabela 8 - Resultado da Simulação para o dia 02/04

As figuras a seguir são um produto do programa, mostrando a clusterização para um raio de 35 km em todos os dias analisados.

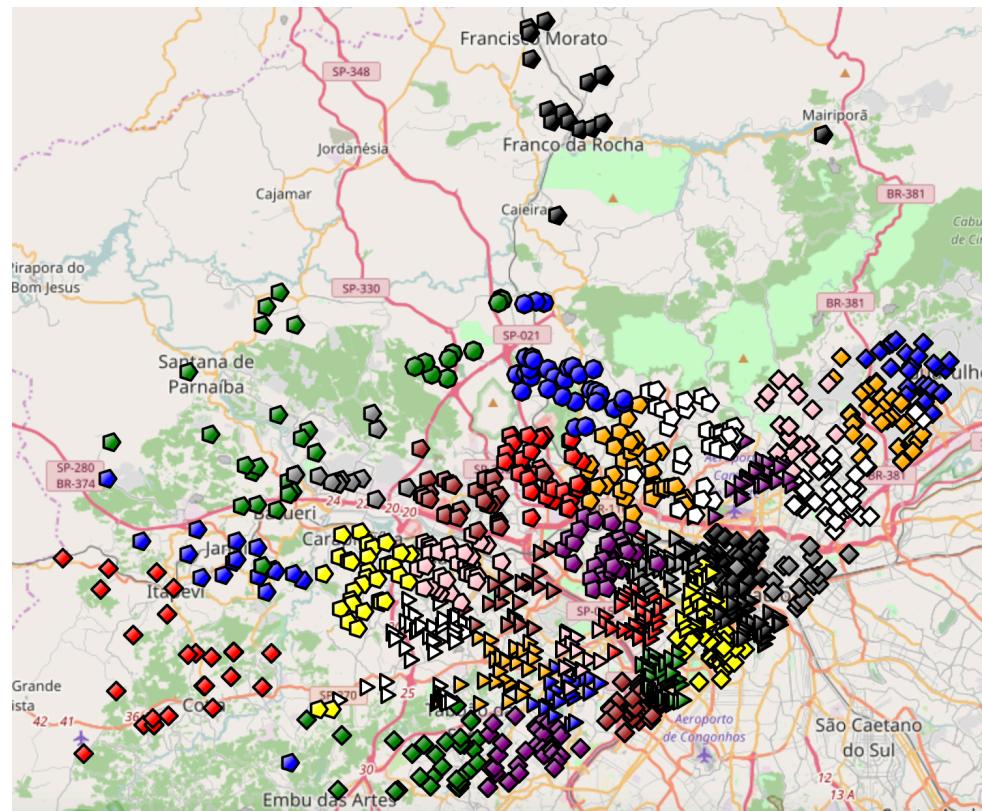


Figura 22 – Malha de entregas clusterizada no dia 28/03

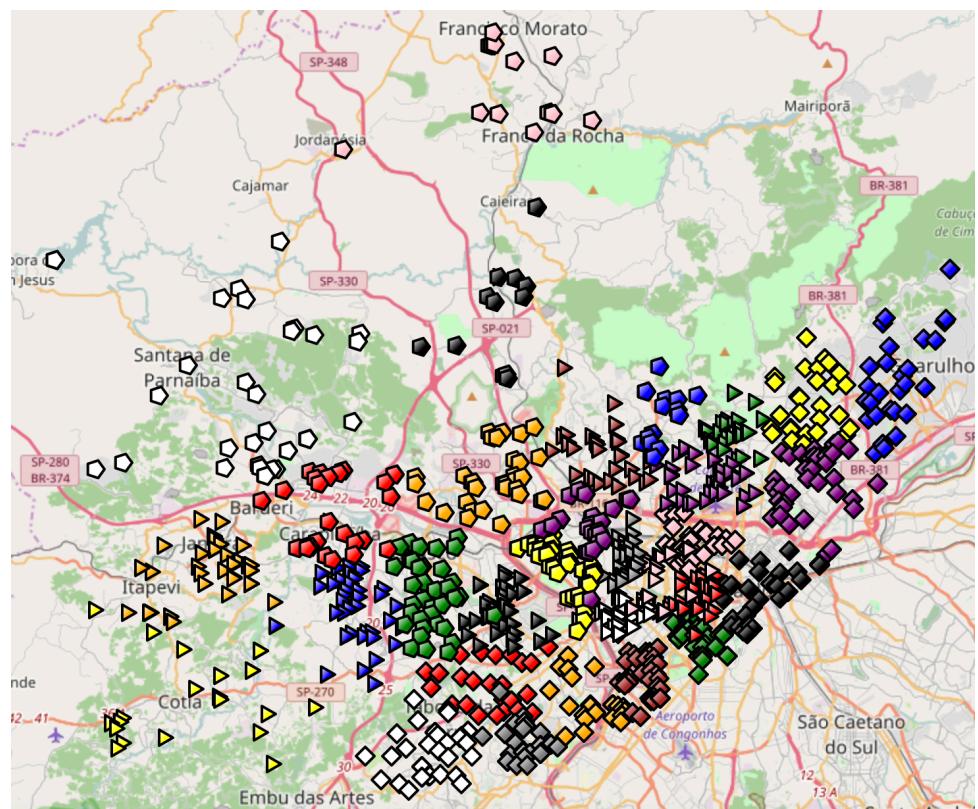


Figura 23 -  
Malha de entregas clusterizada no dia 29/03

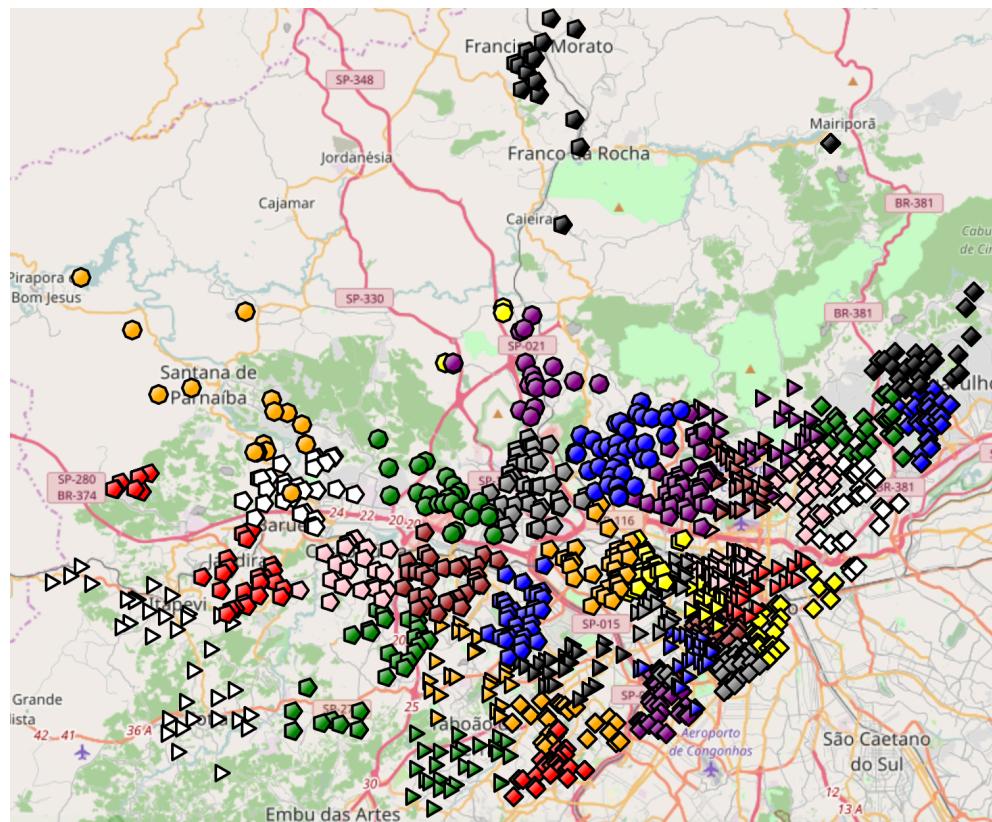


Figura 24 - Malha de entregas clusterizada no dia 30/03

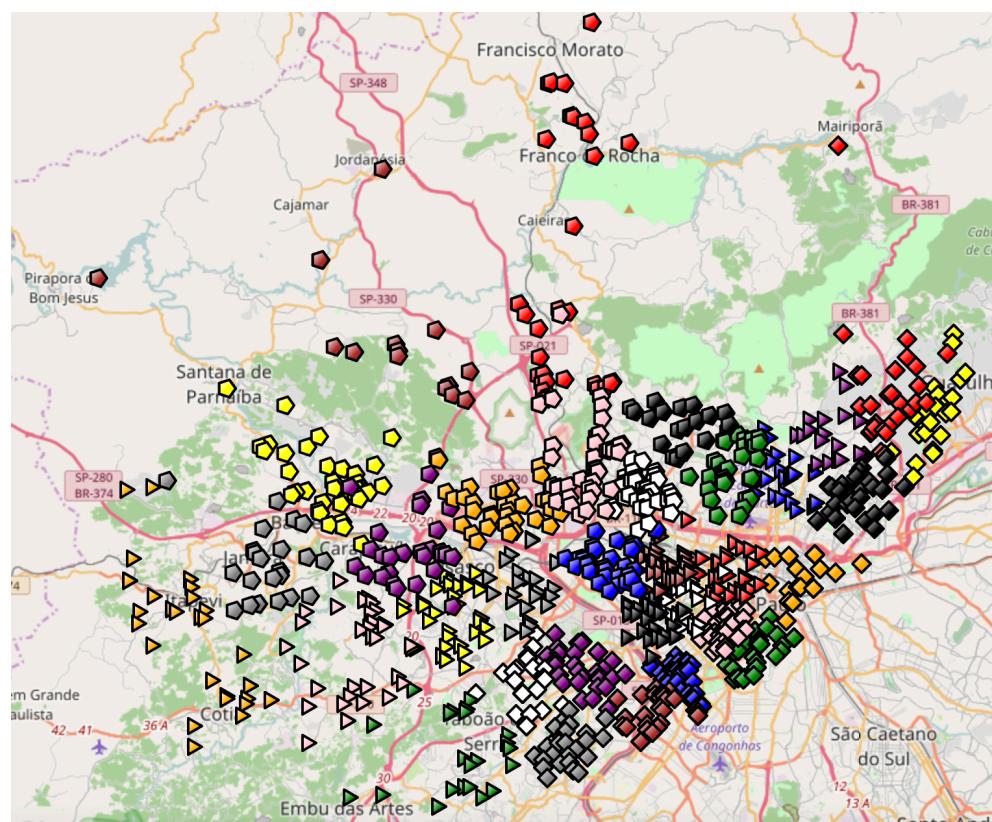


Figura 25 - Malha de entregas clusterizada no dia 31/03

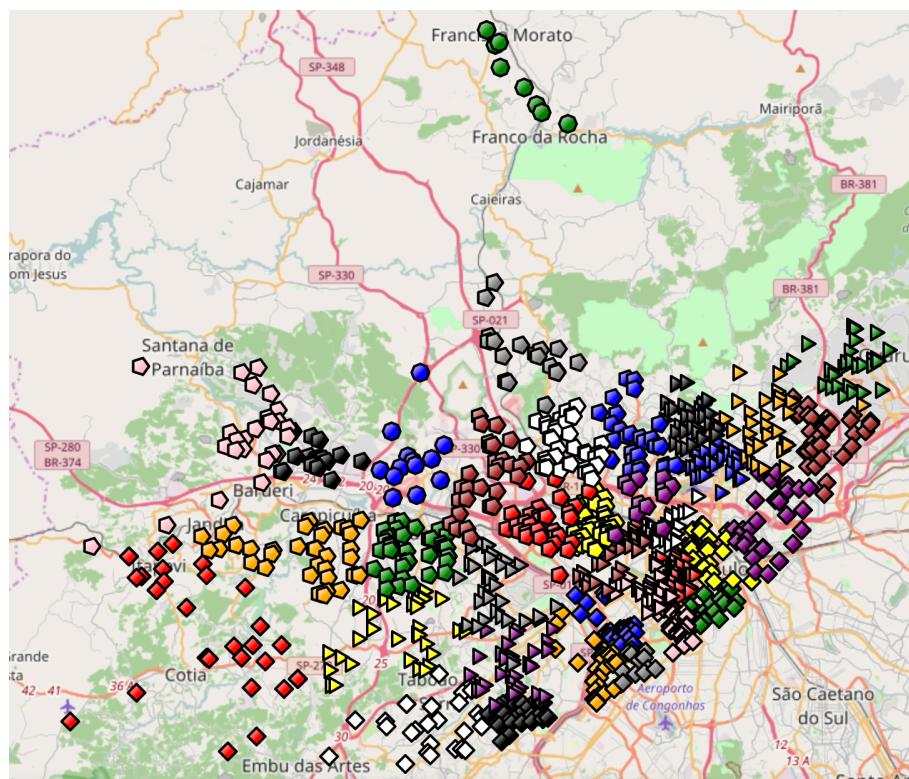


Figura 26 - Malha de entregas clusterizada no dia 01/04

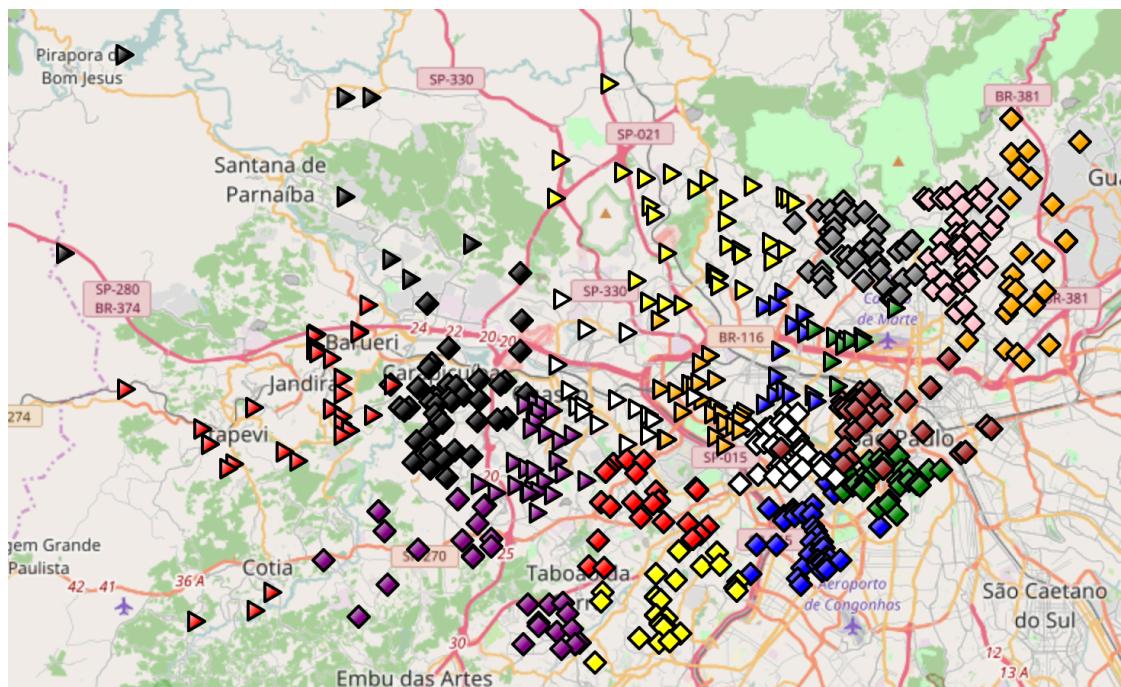


Figura 27 - Malha de entregas clusterizada no dia 02/04

## 8. Custos

Observam-se, no Brasil, diferenças entre os fretes praticados pelos principais atores envolvidos no transporte rodoviário de cargas (empresas, autônomos e cooperativas). Assim, esta parte do trabalho busca comparar o valor do frete quando da utilização da frota própria, ou no caso da companhia, de um contrato de prestação de serviço exclusivo, e da utilização dos *couriers*, verificando-se possíveis diferenças no que tange aos preços praticados no mercado e os custos de operação do transporte rodoviário de cargas.

Existem diferentes tipos de métodos que podem ser adotados para o cálculo do frete de transporte: métodos voltados para a concorrência, métodos voltados para demanda e métodos voltados para custos (Souza e Rocha, 2010). Por meio dos métodos voltados para concorrência, as empresas estabelecem o valor do frete a partir de um levantamento dos preços de mercado (concorrentes), estabelecendo o seu preço mediante às práticas de mercado.

O método voltado para demanda leva em consideração o quanto o consumidor está disposto a pagar pelo serviço. Porém, a disponibilidade de dados e informações sobre a elasticidade da demanda é muito escassa, dificultando sua utilização no setor de transportes (Teixeira Filho, 2001).

Enfim, o método voltado para custos estabelece uma margem sobre os custos esperados, obtidos por meio da apropriação ou por metodologias clássicas de contabilidade de custos. O método voltado para custos é o mais utilizado para cálculo de tarifas de transporte. A partir de uma metodologia adequada para cálculo dos custos do frete, pode-se contribuir para formação de preços oportunos, tanto para empresa quanto para o transportador. Desta forma, foi utilizada a planilha da ANTT (versão da planilha data de Agosto de 2015). As variáveis aqui consideradas são restritas às despesas diretas para obtenção dos custos fixos e variáveis.

São consideradas despesas diretas aquelas relacionadas à operação dos veículos de transporte, as quais estão divididas em custos fixos e variáveis. Os custos variáveis são todos aqueles que incidem apenas quando o veículo se encontra em operação. Por sua vez, são considerados custos fixos todos aqueles que incidem independente do veículo estar ou não operando.

Por despesas indiretas, pode se considerar os salários e honorários das pessoas que atuam no escritório da companhia e no centro de distribuição, aluguel dos imóveis ocupados, tarifa de serviços públicos, como água, energia elétrica, telefone, entre outros, serviços de profissionais terceirizados, com destaque para o serviço de rastreamento por satélite, impostos, entre outros não tão relevantes.

De inicio, para calcular os valores relativos à movimentação de cargas em geral, foram pesquisados dados relativos aos custos, especificações e dados operacionais que incidiam em cada uma das metodologias de cálculo. Estes foram divididos em três grandes grupos:

Dados da carga transportada: A informação da carga a ser transportada, tanto no que tange a volume, quanto a peso, está associada unicamente a escolha do veículo a ser utilizado, haja vista que as metodologias de cálculo de custo apresentadas não levam diretamente em conta este parâmetro.

Dados do veículo: Como mencionado anteriormente a operação conta com dois tipos de veículo, um com maior capacidade volumétrica e de transporte de carga e outro menor, como mostra a Tabela 9.

Veículo	Capacidade Volumétrica (m <sup>3</sup> )	Capacidade de Carga (Kg)
Veículo Leve	1,2	800
Veículo Pesado	10 a 12	1.600

Tabela 9 - Características dos veículos

A capacidade volumétrica dos veículos maiores varia em função do baú, que pode ser tamanho padrão ou estendido, com 40 cm a mais de comprimento.

Como já foi mencionado anteriormente, para efeito deste trabalho o grupo está considerando apenas o veículo de maior capacidade nas entregas.

Dados da rota/operação: O dado de maior interesse aqui é a distância em média percorrida, para isso foram utilizados os outputs do método de roteirização desenvolvido pelo grupo, apresentados outrora.

A seguir, é apresentada detalhadamente a metodologia considerada para o escopo deste projeto.

Custo Fixo Mensal			
Descrição	Unidade	Valor	
Quanto custa o veículo automotor de cargas novo?	R\$	132,516.00	
Qual o preço de revenda do veículo automotor de cargas?	R\$	59,632.20	
Quantos anos possui o veículo, considerando a data atual e o ano de fabricação?	Anos	5	
Valor da depreciação mensal do veículo		R\$ 1,214.73	
Qual foi o rendimento da poupança no último mês	%	1.00%	
Valor médio do veículo		R\$ 96,074.10	
Remuneração mensal do capital		R\$ 960.74	
Qual é o percentual de encargos sociais pagos sobre o salário do motorista?	%	107.47%	
Qual é o valor do salário pago ao motorista	R\$	R\$ 1,731.04	
Quantos motoristas são empregados por veículo?	Número	1.5	
Custo mensal de mão-de-obra		R\$ 5,387.08	
IPVA	R\$	R\$ 2,558.00	
DPVAT	R\$	R\$ 110.38	
Licenciamento	R\$	R\$ 80.07	
Taxa de vistoria tacógrafo	R\$	R\$ 209.00	
Custo mensal com tributos sobre veículo		R\$ 237.75	
Qual é o valor do contrato anual de seguro do veículo automotor de carga?	R\$	R\$ 6,000.00	
Custo mensal com seguro do veículo		R\$ 500.00	
Custo Fixo Mensal		R\$ 8,300.30	

Tabela 10 - Custos Fixos da Metodologia da ANTT

Custo Variável por Km			
Descrição	Unidade	Valor	
Qual é a proporção de gasto com manutenção em relação ao preço do veículo?	%	0.98%	
Qual é a média mensal de quilômetros percorridos pelo veículo?	Km	3,000.00	
Custo de manutenção por Km		R\$ 0.43	
Qual é o preço médio do diesel, considerando os locais que geralmente abastece o veículo?	R\$/Litro	R\$ 2.87	
Qual é o rendimento médio de combustível no seu veículo?	Km/Litro	8.00	
Custo com combustível por Km		R\$ 0.36	
Qual é o preço do litro do aditivo ARLA 32	R\$/Litro	R\$ 21.14	
Qual é o rendimento médio do ARLA 32 no seu veículo?	Km/Litro	6,000.00	
Custo do ARLA 32 por Km		R\$ 0.004	
Quanto custa o litro do lubrificante usado no motor?	R\$/Litro	R\$ 17.44	
Qual é a capacidade de óleo do carter do veículo?	Litros	7.50	
Com quantos quilômetros ocorre a troca do óleo de motor?	Km	3,000.00	
Quantos litros de lubrificantes é reposto a cada 1000 km?	Litros	1.00	
Custo com lubrificantes por Km		R\$ 0.06	
Quanto custa a lavagem completa do veículo?	R\$	R\$ 47.00	
Qual é a distância percorrida entre as lavagens do veículo?	Km	1500	
Custo com lavagem por Km		R\$ 0.03	
Quanto custa um pneu novo para o seu veículo?	R\$	R\$ 430.00	
Quanto custa a recauchutagem ou recapagem do pneu?	R\$	R\$ 21.00	
Quantas vezes o pneu é recauchutado ou recapado até ser descartado?	Número	1.00	
Quantos pneus são utilizados no veículo trator e no implemento?	Número	4.00	
Quantos quilômetros dura, em média, o pneu utilizado?	Km	50,000.00	
Custo com pneus e recauchutagens por Km		R\$ 0.04	
Custo Variável por Km		R\$ 0.92	

Tabela 11 - Custos Variáveis da Metodologia da ANTT

Adicionalmente aos custos apresentados acima, considerou-se um *ad-valorem* de 0,17% sobre o valor da nota fiscal dos produtos transportados. Tal valor diz respeito ao seguro contratado para a carga transportada.

Das simulações realizadas com os dados da semana do dia 28/03 a 02/04 e, que foram apresentadas outrora neste trabalho, pode-se tirar algumas conclusões. Utilizando o número total de viagens realizadas no raio de 55 km, aquele que abrange o ponto mais extremo da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), a distância média percorrida e o tempo médio de duração das viagens é possível propor um custo mensal para a operação logística da companhia via extração de comportamento, isto é, considerando um mês em que as todas as semanas apresentam o mesmo comportamento no que tange a número de viagens, distância e tempo médios percorridos. A Figura 28 mostra o número de viagens e a distância percorrida em cada dia daquela semana.

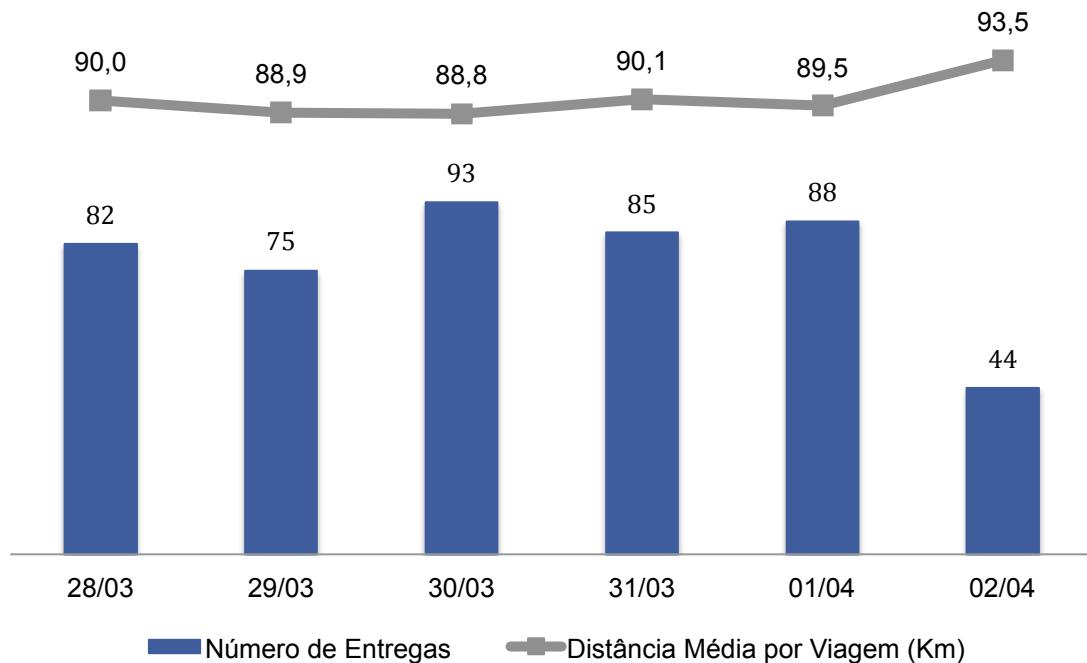


Figura 28 – Número de viagens e distância média percorrida de 28/03 a 02/04

Considerando que cada veículo realiza uma única viagem por dia, é necessário que hajam tantos veículos quanto o número de viagens máximo naquela semana, ou seja, que a operação tenha 93 veículos a disposição.

A Tabela 12 traz um resumo dos custos finais obtidos.

	ANTT
Custo Fixo Mensal (R\$/ veículo)	8.300,30
Número de Veículos	93
Custo Variável Mensal (R\$/ Km)	0,92
Km totais percorridos	219.269
<b>Custo Total Mensal (R\$)</b>	<b>1.024.647</b>

Tabela 12 – Comparativo de Custos

Para comparar a operação de um frota própria com a de couriers, recorreu-se à metodologia da Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT) apresentada anteriormente (Tabelas 10 e 11) e à planilha de custos de dois importantes *players* do setor de transportes (*couriers*). A saber, um dos *players* considera faixas de peso e distâncias para fixar os preços, enquanto o outro considera apenas faixas de peso. Adicionalmente, para produtos com peso superior a 30 kg, recorreu-se a uma terceira companhia, especializada na entrega de produtos pesados.

Como pretendia-se determinar as regiões da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) nas quais valia a pena entregar com a frota própria e aquelas nas quais o uso de *couriers* era mais vantajoso, não faz sentido analisar as duas alternativas existentes no que tange ao custo mensal do transporte pois perde-se o aspecto espacial das entregas. Assim sendo, recorreu-se a análise dos custos para cada uma das rotas individualmente em cada um dos dias da semana de 28/03 a 02/04.

De inicio, o grupo acreditava que duas variáveis interferiam no custo de cada uma dessas rotas; peso e distância. Para avaliar a variável distância, foi criado uma tabela comparando a proporção de rotas em que seria mais favorável o uso do *courier* para os diferentes raios considerados.

	25 km			35 km		
	Frota Própria	Courier	Total	Frota Própria	Courier	Total
28/03	100%	-	11	94%	6%	35
29/03	89%	11%	9	94%	6%	31
30/03	91%	9%	11	92%	8%	38
31/03	91%	9%	11	94%	6%	33
01/04	100%	-	10	86%	14%	35
02/04	83%	17%	6	84%	16%	19

	45 km			55 km		
	Frota Própria	Courier	Total	Frota Própria	Courier	Total
28/03	92%	8%	61	88%	12%	82
29/03	91%	9%	57	92%	8%	75
30/03	90%	10%	71	87%	13%	93
31/03	97%	3%	61	95%	5%	85
01/04	88%	12%	67	91%	9%	88
02/04	78%	22%	32	70%	30%	44

Tabela 13 – Necessidade de *courier* por dia

Pode-se observar que conforme aumentamos o raio de distância, o número de rotas em que é mais favorável o uso do *courier* não aumenta percentualmente em relação ao número de rotas que optam pela frota própria em todos os casos, contrariando o esperado. Dessa maneira o grupo percebeu que o fator distância influenciava na tomada de decisão, porém, não se tratava do principal fator decisório. Após plotar os resultados, ficou ainda mais claro que outra variável acaba sendo mais relevante para favorecer o uso do *courier*.

Abaixo são apresentadas imagens que retratam as regiões nas quais compensa realizar as entregas com uma frota própria e aquelas nas quais a entrega com *courier* é menos custosa. Em azul, estão destacados os pontos onde a entrega é mais vantajosa por frota própria enquanto, em vermelho, são destacados os pontos em que é mais válido a entrega por *courier*.

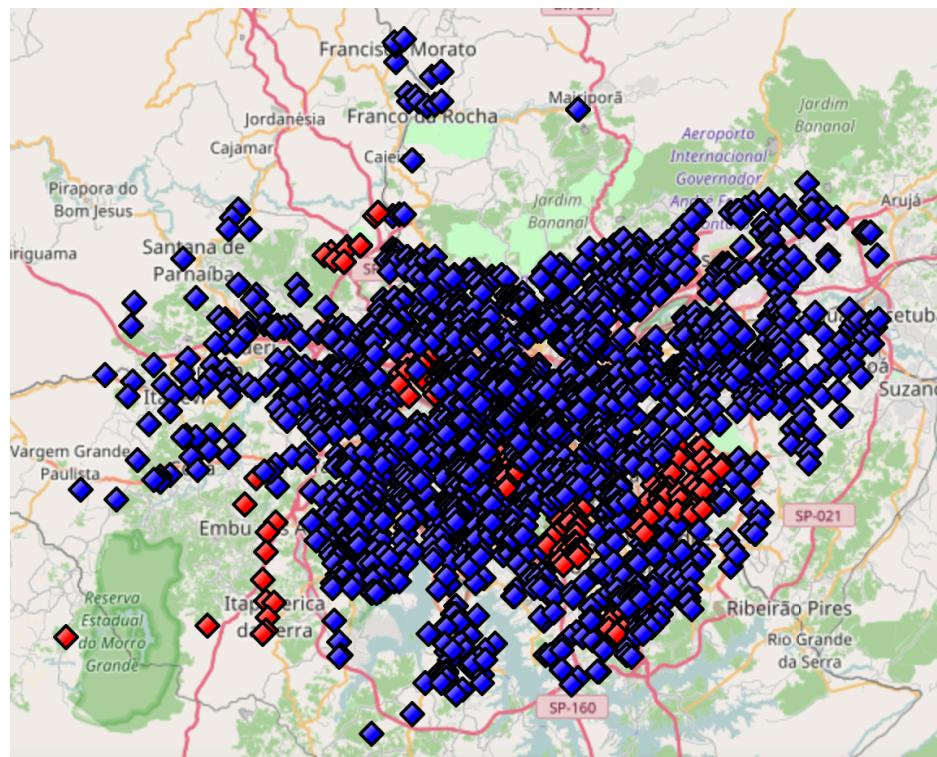


Figura 29 – Frota prória vs. courier em 28/03

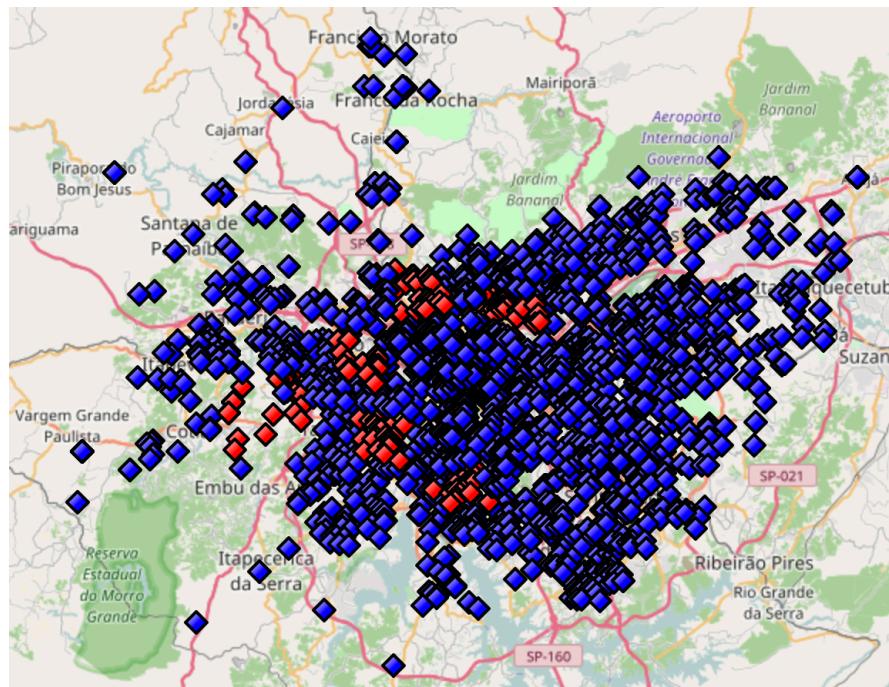


Figura 30 – Frota prória vs. courier em 29/03

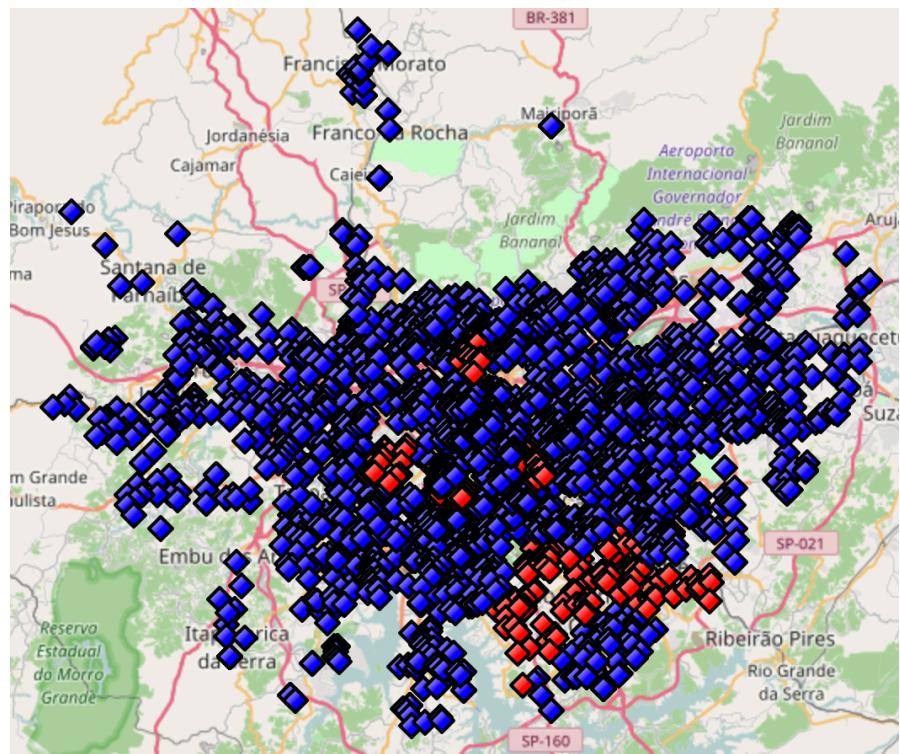


Figura 31 – Frota prória vs. courier em 30/03

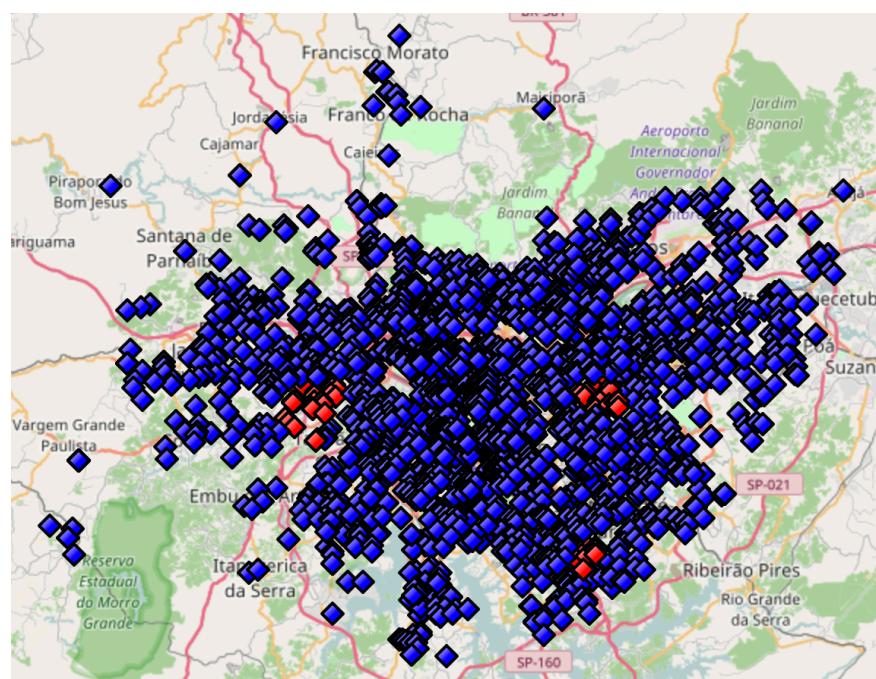


Figura 32 – Frota prória vs. courier em 31/03

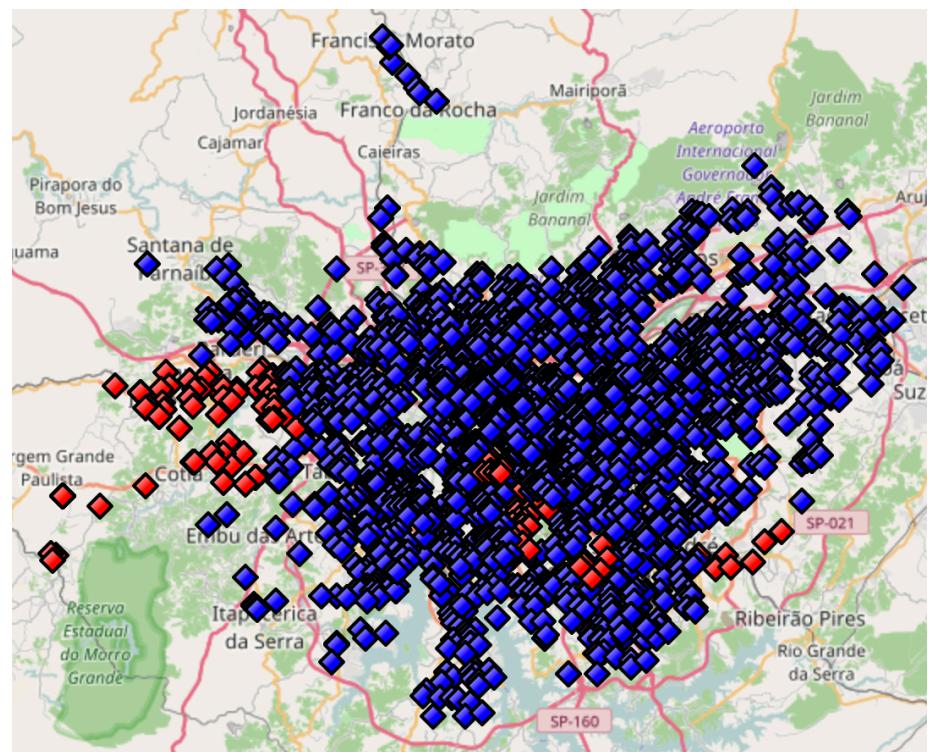


Figura 33 – Frota prória vs. courier em 01/04

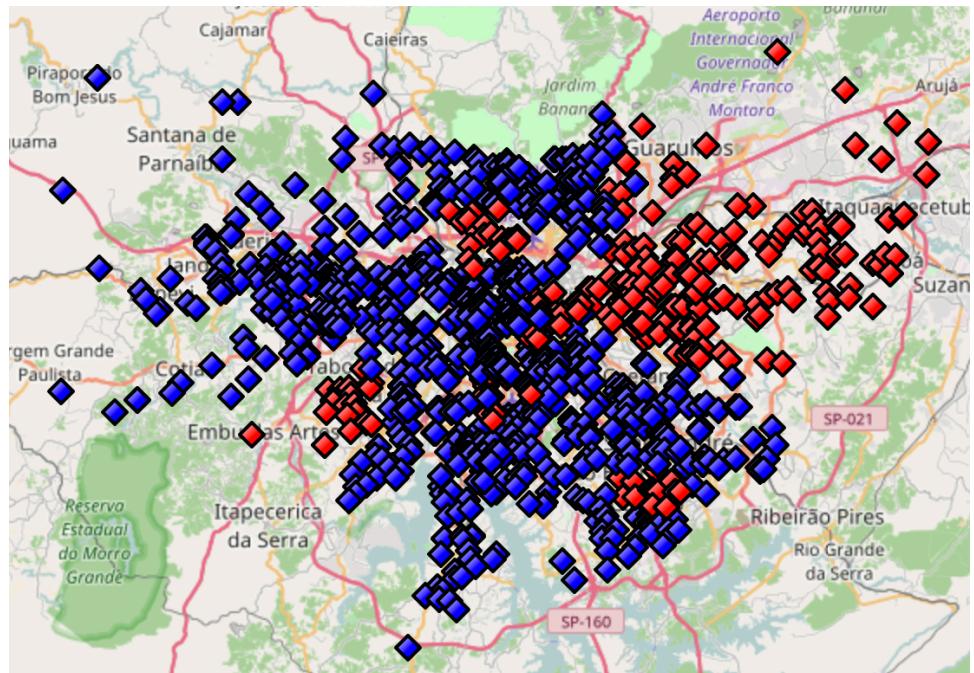


Figura 34 – Frota prória vs. courier em 02/04

A análise das imagens acima mostra que, geográficamente, a distância acaba não influenciando na tomada de decisão e a maioria das rotas que se mostram mais favoráveis ao uso do *courier* aparentam ser aleatórias. Estudando mais profundamente cada rota vermelha, concluiu-se que estas acabavam resultando em *courier* devido à baixa carga que os caminhões levavam nas entregas de cada dia (pesos por caminhão aproximadamente inferiores a 200 kg).

O grupo não analisou o nível de serviço, uma componente importante quando decide-se tomar uma decisão deste cunho. Não foi possível analisar esta componente pois a base de dados a qual o grupo teve acesso não trazia essa informação.

De maneira geral, o uso da frota própria se mostrou mais apropriada para as operações da empresa, dentro das premissas consideradas neste trabalho. Foi observado também que os custos do *courier* se mostravam mais vantajosos para caminhões que operavam com cargas menores, já que estes custos levam muito mais em conta o peso dos produtos enquanto a frota própria acaba sendo limitada pela área que cada veículo consegue preencher sem extrapolar a jornada de trabalho dos motoristas.

## 9. Considerações Finais

Conforme discutido anteriormente neste relatório, a estratégia logística de uma empresa tem impacto significativo em seus resultados financeiros e operacionais e, isso motivou o grupo a elaborar essa análise que teve grande colaboração de profissionais da área especializados no setor de logística.

O contato com esses profissionais contribuiu de forma relevante para enriquecer não só este trabalho, mas também agregar na vida profissional do grupo.

Durante a execução deste relatório, o grupo se deparou com os desafios e questionamentos de um profissional que atua na cadeia logística. Muitas destas dúvidas foram esclarecidas com o auxílio das referências bibliográficas citadas durante o relatório.

Apesar do resultado satisfatório, o grupo gostaria de ter atingido um resultado mais preciso e mais fidedigno à realidade, porém uma série de premissas adotadas na construção do programa impedem a adoção da solução final sem que ressalvas sejam feitas. Por isso, destaca-se a importância de roteirizadores como ferramentas para determinar a estratégia logística.

Por fim, baseado no que foi explicitado nas seções anteriores deste relatório, o grupo recomenda à empresa a adoção de uma frota própria para realização de suas entregas, haja vista que se trata de uma alternativa menos custosa que a utilização de *couriers* e que possivelmente traz um nível de serviço mais elevado à operação.

## 10. Referências Bibliográficas

- ANGELO, **Indicadores de desempenho logístico**: grupo de estudos logísticos. Universidade Federal de Santa Catarina. 2005.
- ANTT - AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES (2012)**  
Disponível em <http://www.antt.gov.br>.
- ARAÚJO, R. R. Um Modelo de Resolução para o Problema de Roteirização em Arcos com Restrição de Capacidade.** Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS, Porto Alegre. 2003, pp. 18-21.
- BALLOU, R. H. Gerenciamento da cadeia de suprimentos:** Logística empresarial. 5 ed. Porto Alegre, Bookman. 2006.
- BALLOU, R. H. Gerenciamento da cadeia de suprimentos:** planejamento, organização e logística empresarial. 4.aed. Porto Alegre: Bookman. 2001.
- BERTRAND, J. W. M., FRANSOO, J. C.** Operations management research methodologies using quantitative modeling. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 22, n. 2, p. 241- 264. 2002.
- BODIN, L.D.; B. GOLDEN; A. ASSAD E M. BALL.** **Routing and scheduling of vehicles and crews: The state of the art.** v. 10, n. 1983
- BOWERSOX, D.J., CLOSS, M,B, e COOPER, D. J.** **Gestão logística de cadeia de suprimentos.** Porto Alegre: Bookman. 2002.
- CHRISTOFIDES, N., MINGOZZI A., TOTH, P.** **Exact Algorithms for the Vehicle Routing Problem, based on spanning tree and shortest path relaxation.** n. 20, p. 255-282. 1981
- CUNHA, C. B. Aspectos Práticos da Aplicação de Modelos de Roteirização de Veículos a Problemas Reais.** Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Transportes. 1997.
- DOS REIS, N. Regulamentação do Transporte Rodoviário de Cargas no Brasil e no Mundo.** 2001. Disponível: <http://www.ntcnet.org.br/regtrc>.
- FARIA, A. C; COSTA, M. F. G.** **Gestão de custos logísticos.** São Paulo, Atlas, 2005. **GIL, A. C.** **Como elaborar projetos de pesquisa.** 4. ed. São Paulo: Atlas. 2009, p. 175.

- GALVÃO, R. D. **Roteamento de Veículos com Base em Sistemas de Informação Geográfica.** Gestão e Produção, v. 4, n. 2, p. 159-173. 1997.
- LIMA, R. S. **Bases para uma metodologia de apoio à decisão para serviços de educação e saúde sob a ótica dos transportes.** 200p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 2003.
- LOPES, L. A. S; MELO, C. S. Jr. **Roteirização simplificada.** Revista Tecnologística, ano VIII, no 89, 2003.
- MELO, A.C.S.; FERREIRA FILHO, V.J.M. **Sistemas de roteirização e programação de veículos. Pesquisa Operacional.** vol.21 no2 Rio de Janeiro 2001.
- NARUO, M. K. **O estudo do consórcio entre municípios de pequeno porte para disposição final de resíduos sólidos urbanos utilizando Sistemas de Informação Geográficas.** São Carlos, 2003. 283p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 2003.
- NOVAES, A. G. **Logística e Gerenciamento da Cadeia de Distribuição.** Editora Campus, Segunda Edição. 2007.
- PARTYKA, J. G. e HALL, R. W. **On the Road to Service.** ORMS Today, v. 27, p. 26-30. 2000.
- PELIZARO, C. **Avaliação do Desempenho do Algoritmo de um Programa Comercial para Roteirização de Veículos.** São Carlos. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Departamento de Engenharia de Transportes, Universidade de São Paulo. 2000.
- REVISTA BR. **Softwares de roteirização trazem benefícios imediatos para operadores de transporte.**
- SILVA, V. **Logística e transporte na indústria brasileira de laticínios: Estudo de casos.** 2003.
- SOUZA, B.; Rocha, W. **Modelo de análise de lucro na logística: conceitos importantes para as decisões.** Revista Mundo Logística, v. 17. 2010.
- TEIXEIRA FILHO, J. **Modelos analíticos de fretes cobrados para o transporte de cargas.** Rio de Janeiro: Dissertação de Mestrado. Instituto Militar de Engenharia. 119p. 2001.

## ANEXO I - Fórmula de Haversine

O uso da fórmula de Haversine se deve ao fato da impossibilidade de usar a fórmula de distância euclidiana em razão da esfericidade do planeta Terra.

Caso específico de uma lei de mesmo nome da trigonometria esférica, a fórmula de Haversine tem grande importância na navegação, pois, a partir das latitudes e longitudes de dois pontos, ela retorna a distância entre eles em uma esfera.

A Lei de Haversine relaciona os lados aos ângulos de uma esfera triangular e possui esse nome devido à função haversine, mostrada a seguir.

$$\text{haversine}(\theta) = \text{sen}^2\left(\frac{\theta}{2}\right) = \frac{1 - \cos \theta}{2}$$

A lei de Haversine é definida da seguinte maneira: Dada uma esfera, como mostrado na Figura 3 em sua superfície, um triângulo  $uvw$  e definido pelo maior círculo possível conectando os três pontos. Estabelecendo comprimento de  $a$ ,  $b$  e  $c$  para os arcos  $uv$ ,  $uw$  e  $vw$ , respectivamente, e o ângulo do canto oposto ao arco  $c$  é  $C$ , temos que:

$$\text{haversine}(c) = \text{haversine}(a - b) + \text{sen}(a) * \text{sen}(b) * \text{haversine}(C)$$

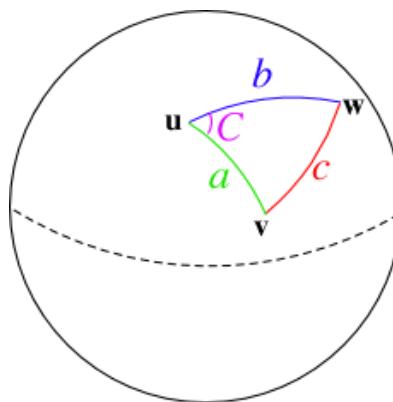


Figura 35 - Esfera considerada na lei de Haversine

Desde que a esfera seja única, os comprimentos de a, b e c são iguais aos ângulos em radiandos subentendidos por estes lados do centro da esfera.

Finalmente, a fórmula de Haversine é dada pela equação abaixo.

$$\text{haversine}\left(\frac{d}{R}\right) = \text{haversine}(\varphi_2 - \varphi_1) + \cos(\varphi_1) * \cos(\varphi_2) * \text{haversine}(\lambda_2 - \lambda_1)$$

onde:

- d é a distância entre dois pontos
- R é o raio da Terra (6.371 km)
- $\varphi_1, \varphi_2$  são as latitudes dos pontos 1 e 2, respectivamente (em radianos)
- $\lambda_1, \lambda_2$  são as longitudes entre os pontos 1 e 2, respectivamente (em radianos)

Após alguns ajustes, na fórmula, chega-se a uma expressão que bastará substituir os valores para encontrar a distância desejada.

$$d = 2r * \text{arcsen} \left( \sqrt{\text{sen}^2 \left( \frac{\varphi_2 - \varphi_1}{2} \right) + \cos(\varphi_1) * \cos(\varphi_2) * \text{sen}^2 \left( \frac{\lambda_2 - \lambda_1}{2} \right)} \right)$$

## ANEXO II – Tabelas Resumo

As Tabelas desta seção trazem um resumo do resultado do programa, levando em consideração o limite máximo de 55 km.

Vale ressaltar que o cálculo da distância média entre pontos leva em consideração a distância total excluindo o percurso de ida e de volta até o centro de distribuição.

Distância (km)	Distância (ex-CD) (km)	# de Entregas	Distância Média entre pontos (km)	Frota Própria	Courier 1	Courier 2
120.6	18.0	20	0.9	477	630	606
117.4	16.3	28	0.6	472	492	444
123.8	22.4	23	1.0	492	1,060	1,039
116.0	14.4	11	1.4	464	852	839
121.5	22.0	22	1.0	486	977	948
120.6	22.2	25	0.9	490	652	617
115.5	16.2	20	0.9	471	720	683
102.6	9.7	17	0.6	461	579	549
117.3	10.3	26	0.4	470	590	559
110.0	14.0	32	0.5	475	848	796
111.5	14.3	16	1.0	474	877	854
116.9	25.9	22	1.2	467	648	630
121.6	21.0	25	0.9	474	1,183	1,165
112.0	15.5	26	0.6	468	797	745
106.5	15.8	17	1.0	455	321	301
106.1	16.1	27	0.6	466	314	271
102.9	8.9	15	0.6	454	976	967
108.1	13.0	21	0.6	464	1,478	1,456
96.7	4.3	15	0.3	444	402	379
104.2	17.7	26	0.7	464	719	657
105.5	20.7	34	0.6	486	503	445
98.7	10.7	18	0.6	455	934	914
106.3	16.5	30	0.6	480	895	855
111.1	33.1	13	2.8	461	404	393
99.2	16.7	27	0.6	465	857	804
110.6	22.4	31	0.7	490	1,074	1,031
101.5	14.9	25	0.6	456	1,162	1,137
98.3	15.7	37	0.4	468	1,044	969
95.2	16.9	30	0.6	470	874	836
104.1	23.7	33	0.7	468	1,715	1,686
90.9	13.9	37	0.4	470	1,417	1,393
104.6	18.5	33	0.6	471	438	412
97.0	22.4	31	0.7	488	614	563
94.9	18.0	43	0.4	485	954	952
89.4	19.3	38	0.5	474	994	951

98.4	23.1	37	0.6	486	1,405	1,367
96.1	23.2	35	0.7	478	1,236	1,209
95.0	15.8	17	1.0	450	554	519
99.1	23.1	37	0.6	469	1,665	1,644
95.4	22.8	25	1.0	461	857	837
95.2	20.0	38	0.5	475	651	616
82.2	11.9	28	0.4	448	367	355
86.9	15.3	26	0.6	451	921	903
82.8	19.4	45	0.4	459	572	529
95.9	28.6	40	0.7	495	1,322	1,279
82.4	10.4	33	0.3	452	710	676
83.7	17.8	30	0.6	461	625	597
84.7	15.8	45	0.4	468	1,369	1,370
81.5	18.2	30	0.6	449	1,527	1,497
87.9	20.5	41	0.5	464	771	723
77.7	16.8	46	0.4	459	954	895
77.5	10.9	47	0.2	456	1,013	974
78.2	19.8	28	0.7	438	1,272	1,244
81.3	12.3	33	0.4	446	1,508	1,491
77.6	14.2	25	0.6	453	955	944
80.7	13.1	44	0.3	468	1,910	1,935
74.4	11.7	46	0.3	463	623	617
107.3	48.4	31	1.6	481	1,433	1,382
76.6	16.1	36	0.5	458	1,263	1,223
77.3	20.4	48	0.4	462	1,342	1,333
78.5	18.9	40	0.5	442	712	669
72.9	11.1	43	0.3	455	1,125	1,124
73.6	15.1	30	0.5	437	796	799
68.3	20.3	29	0.7	431	1,691	1,657
73.3	19.3	51	0.4	464	762	731
65.6	10.6	25	0.4	422	594	564
78.5	18.7	24	0.8	437	624	607
70.8	21.4	41	0.5	444	681	646
60.7	11.8	19	0.7	420	357	345
69.6	14.8	42	0.4	456	546	547
78.0	37.2	45	0.8	465	982	926
65.2	43.1	42	1.1	444	623	567
68.6	19.9	48	0.4	445	527	507
60.1	17.5	37	0.5	435	776	733
70.1	26.5	51	0.5	468	1,421	1,379
76.8	27.2	50	0.6	460	871	824
75.6	37.7	23	1.7	440	825	796
62.8	19.7	44	0.5	459	1,696	1,667
56.3	31.0	38	0.8	451	1,463	1,432
55.4	22.9	32	0.7	434	792	757
53.1	15.0	34	0.5	423	1,346	1,319
31.9	7.9	14	0.6	388	342	339

Tabela 14 – Resmo do dia 28/03

Distância (km)	Distância (ex-CD) (km)	# de Entregas	Disância Média entre pontos (km)	Frota Própria	Courier 1	Courier 2
121.3	18.1	17	1.1	473	664	635
116.0	11.1	16	0.7	476	1,168	1,161
115.1	13.3	26	0.5	472	1,086	1,037
123.7	23.5	22	1.1	478	730	696
112.8	19.8	31	0.7	472	1,088	1,047
119.8	20.5	16	1.4	476	1,096	1,088
111.6	8.2	19	0.5	469	733	711
117.1	23.6	27	0.9	475	1,070	1,040
111.8	13.7	18	0.8	469	1,081	1,059
120.8	24.5	21	1.2	471	745	734
124.0	25.7	24	1.1	477	948	917
100.7	12.9	21	0.6	461	1,058	1,039
107.4	22.7	28	0.8	477	1,601	1,571
102.3	16.5	27	0.6	463	796	757
107.9	12.3	24	0.5	458	661	630
96.5	8.5	14	0.7	448	491	464
112.8	31.7	27	1.2	464	935	909
104.9	17.2	32	0.6	468	930	880
107.5	17.7	31	0.6	477	1,353	1,301
101.0	10.6	16	0.7	452	865	855
98.4	16.1	27	0.6	480	1,488	1,473
118.3	40.7	23	1.8	474	1,546	1,533
85.2	19.7	19	1.1	448	1,532	1,514
98.1	15.0	23	0.7	462	842	803
93.8	13.1	31	0.4	471	1,431	1,397
95.4	11.9	36	0.3	457	946	902
100.8	19.1	32	0.6	460	1,168	1,142
87.2	17.2	40	0.4	467	1,390	1,364
94.2	17.3	32	0.6	462	863	832
97.6	20.1	34	0.6	458	771	719
88.7	11.9	18	0.7	440	671	659
90.3	14.3	24	0.6	450	604	581
93.5	17.6	26	0.7	443	305	273
90.6	15.1	38	0.4	452	978	971
86.5	14.6	24	0.6	444	628	607
92.6	24.1	38	0.7	461	1,088	1,066
93.0	28.3	38	0.8	464	1,083	1,041
91.9	14.2	35	0.4	448	553	526
94.0	24.1	32	0.8	462	1,368	1,351

85.8	15.0	40	0.4	467	1,233	1,191
86.9	11.6	43	0.3	461	980	935
92.4	38.3	27	1.5	480	1,913	1,870
81.3	16.0	40	0.4	443	754	704
90.2	18.0	42	0.4	454	1,009	968
79.0	13.6	42	0.3	468	1,234	1,221
84.5	23.9	43	0.6	445	885	833
81.2	23.2	30	0.8	451	1,206	1,167
80.9	13.4	34	0.4	453	737	711
83.2	15.4	31	0.5	451	732	719
80.7	13.3	32	0.4	469	983	966
80.7	16.5	43	0.4	464	922	900
71.8	16.2	24	0.7	429	648	633
79.1	17.9	28	0.7	452	377	350
76.3	14.6	45	0.3	444	1,437	1,426
71.6	13.3	33	0.4	452	1,076	1,048
74.5	22.1	51	0.4	432	522	445
78.9	25.8	39	0.7	441	422	383
69.4	9.1	41	0.2	429	883	859
71.9	22.2	30	0.8	438	432	379
72.0	15.5	44	0.4	442	1,290	1,265
76.0	28.0	38	0.8	447	581	525
65.5	11.0	33	0.3	421	499	479
69.3	16.5	51	0.3	448	829	807
63.2	15.3	39	0.4	434	639	610
58.2	11.2	22	0.5	417	243	223
65.8	15.5	39	0.4	431	901	867
63.4	20.6	39	0.5	427	832	804
63.1	12.1	25	0.5	444	757	745
77.5	35.5	47	0.8	438	677	593
70.4	43.4	39	1.1	451	748	683
59.2	17.7	29	0.6	423	399	353
56.7	20.5	34	0.6	431	835	799
81.4	44.5	40	1.1	457	622	566
46.1	36.0	18	2.1	404	646	620
55.4	50.3	21	2.5	415	869	848

Tabela 15 – Resmo do dia 29/03

Distância (km)	Distância (ex-CD) (km)	# de Entregas	Disância Média entre pontos (km)	Frota Própria	Courier 1	Courier 2
121.3	18.7	29	0.7	492	442	405
115.4	11.5	12	1.0	463	536	515
118.3	13.7	26	0.5	477	802	776
116.2	12.9	14	1.0	470	1,005	986
120.6	18.1	23	0.8	492	1,351	1,315
115.8	16.7	23	0.8	472	1,699	1,672
115.6	27.3	25	1.1	471	307	267
120.1	15.8	19	0.9	479	1,291	1,280
106.4	10.9	25	0.5	461	350	297
97.5	7.0	10	0.8	444	176	144
122.7	20.4	26	0.8	489	903	879
111.3	11.3	25	0.5	474	1,656	1,632
113.9	17.7	23	0.8	477	1,834	1,807
102.5	12.7	22	0.6	465	1,085	1,057
112.2	21.1	21	1.1	470	866	855
100.3	13.1	23	0.6	452	1,055	1,014
110.6	15.5	21	0.8	468	1,401	1,410
110.1	17.6	25	0.7	478	1,813	1,793
104.1	14.8	31	0.5	476	1,238	1,213
99.2	8.0	25	0.3	447	264	211
111.3	14.7	29	0.5	476	1,163	1,125
107.8	15.4	18	0.9	454	176	146
109.2	19.5	28	0.7	469	837	821
99.0	15.2	27	0.6	468	1,318	1,287
103.8	15.3	25	0.6	473	1,892	1,869
110.4	18.1	25	0.8	475	1,441	1,405
104.7	24.9	30	0.9	465	786	725
96.6	15.6	17	1.0	451	1,532	1,529
97.5	13.1	26	0.5	447	507	482
97.3	17.0	25	0.7	458	1,314	1,292
97.2	15.9	30	0.5	469	1,107	1,090
92.8	12.9	27	0.5	453	1,342	1,316
97.4	12.4	25	0.5	456	331	304
100.2	17.0	33	0.5	470	1,571	1,549
92.6	13.3	42	0.3	457	580	551
93.1	14.0	19	0.8	450	904	882
94.2	15.5	35	0.5	472	1,886	1,865
89.9	15.4	36	0.4	465	1,783	1,762
89.9	14.9	29	0.5	462	1,007	977
87.7	10.9	30	0.4	458	2,178	2,161
98.6	31.9	31	1.1	464	1,004	979
88.3	11.8	26	0.5	453	513	499
109.5	35.0	34	1.1	481	780	753
84.1	10.4	19	0.6	443	733	715

87.8	13.5	29	0.5	451	1,065	1,039
86.9	12.1	41	0.3	454	783	779
94.5	21.7	32	0.7	457	1,034	1,003
86.2	14.9	33	0.5	455	1,242	1,221
84.6	9.9	39	0.3	489	1,135	1,136
83.2	13.4	42	0.3	457	1,328	1,304
84.8	12.3	20	0.6	437	223	202
82.9	14.2	41	0.4	453	1,336	1,315
81.8	14.3	45	0.3	469	1,414	1,375
73.2	12.6	32	0.4	458	1,027	1,024
77.5	14.0	26	0.6	442	650	625
79.6	7.7	28	0.3	440	495	479
80.6	13.4	47	0.3	455	746	719
81.5	13.0	42	0.3	447	1,187	1,159
75.6	7.9	22	0.4	438	326	307
73.2	16.1	15	1.1	426	501	486
90.4	21.4	34	0.6	456	1,673	1,639
79.4	12.9	39	0.3	441	490	433
85.2	20.1	43	0.5	443	949	888
77.0	11.5	45	0.3	453	1,716	1,715
88.3	29.9	38	0.8	465	1,444	1,411
75.5	18.1	30	0.6	448	719	715
75.3	10.8	46	0.2	456	1,429	1,405
89.0	37.0	38	1.0	467	1,007	968
78.5	17.3	36	0.5	453	970	935
81.1	17.7	41	0.4	464	711	700
73.6	16.1	50	0.3	446	1,201	1,169
69.0	11.3	30	0.4	426	303	272
96.5	42.4	34	1.3	470	864	803
67.3	13.4	47	0.3	439	840	816
73.5	13.6	50	0.3	450	853	838
70.3	19.0	34	0.6	444	696	674
72.8	11.3	50	0.2	444	779	766
62.5	16.1	23	0.7	427	564	538
81.2	28.9	38	0.8	453	874	827
66.2	10.9	36	0.3	453	1,234	1,223
65.7	19.1	47	0.4	451	1,387	1,335
66.8	27.6	42	0.7	444	1,949	1,917
71.0	21.1	45	0.5	436	618	594
62.2	8.8	18	0.5	414	202	186
60.0	13.9	31	0.5	431	573	534
73.1	38.8	44	0.9	449	713	658
56.6	29.9	50	0.6	448	1,160	1,101
62.8	25.6	50	0.5	435	849	820
46.2	15.3	24	0.7	412	900	862
71.1	31.1	34	0.9	437	812	766
63.8	22.8	40	0.6	448	870	830

54.3	9.3	27	0.4	433	1,005	986
47.1	7.1	27	0.3	414	766	743

Tabela 16 – Resmo do dia 30/03

Distância (km)	Distância (ex-CD) (km)	# de Entregas	Disância Média entre pontos (km)	Frota Própria	Courier 1	Courier 2
118.2	18.0	25	0.8	464	1,180	1,145
118.2	16.1	23	0.7	469	1,070	1,053
120.6	18.3	21	0.9	464	697	674
120.4	22.4	13	1.9	464	937	921
114.5	20.0	25	0.8	465	1,142	1,104
114.9	14.5	26	0.6	463	849	816
117.4	15.0	23	0.7	477	1,175	1,149
107.6	11.4	12	1.0	449	825	824
121.3	17.1	27	0.7	479	857	812
94.0	13.7	18	0.8	441	834	799
118.3	16.3	14	1.3	471	994	982
107.3	10.3	24	0.4	454	418	361
108.7	15.1	26	0.6	457	1,108	1,078
123.5	26.4	18	1.6	468	650	628
112.8	19.0	17	1.2	461	752	752
112.0	19.0	21	0.9	461	883	851
108.6	17.9	27	0.7	459	1,874	1,858
119.1	26.0	26	1.0	465	1,250	1,225
115.1	24.2	22	1.2	462	1,769	1,756
104.3	15.9	29	0.6	460	1,529	1,488
103.2	18.0	28	0.7	480	1,227	1,178
102.6	16.0	26	0.6	456	1,191	1,184
104.7	15.0	26	0.6	458	1,341	1,306
100.1	17.2	24	0.7	453	966	945
99.7	16.4	24	0.7	452	1,141	1,140
112.4	26.1	30	0.9	478	1,188	1,154
104.2	18.8	23	0.9	451	692	666
92.0	12.6	30	0.4	451	329	302
109.2	29.8	28	1.1	484	1,689	1,686
96.5	17.1	32	0.6	460	1,270	1,231
97.3	11.8	27	0.5	453	1,675	1,645
91.8	14.9	22	0.7	449	1,078	1,066
98.3	13.8	22	0.7	448	728	691
82.7	1.6	2	1.6	425	25	21
97.8	16.8	37	0.5	472	1,209	1,184
108.0	38.9	25	1.6	476	1,067	1,034
94.4	15.0	27	0.6	462	907	892
86.2	11.2	34	0.3	444	652	643
92.9	28.7	25	1.2	460	1,937	1,919

88.7	11.6	27	0.4	445	491	459
96.5	30.0	33	0.9	459	2,294	2,265
84.0	11.1	37	0.3	442	1,044	1,015
110.3	34.2	24	1.5	466	928	911
89.4	15.1	26	0.6	443	623	580
85.3	15.0	39	0.4	456	543	507
98.2	18.6	33	0.6	473	764	710
87.1	9.2	40	0.2	461	932	889
79.6	9.9	24	0.4	445	810	791
80.5	10.7	43	0.3	471	567	545
90.7	18.0	34	0.5	468	1,127	1,091
83.1	11.9	39	0.3	452	620	614
86.5	23.6	42	0.6	474	1,250	1,201
88.1	19.2	28	0.7	460	2,075	2,055
84.0	17.3	39	0.5	470	1,222	1,218
82.0	13.1	40	0.3	461	981	953
72.6	14.7	49	0.3	461	1,122	1,118
82.5	18.6	38	0.5	470	1,444	1,417
70.9	7.2	27	0.3	436	836	828
74.0	14.7	25	0.6	434	721	683
69.5	18.8	24	0.8	430	339	306
83.3	20.1	46	0.4	485	1,043	1,022
75.5	13.9	32	0.4	453	794	772
84.2	19.9	35	0.6	471	528	530
77.9	20.2	24	0.9	438	774	750
66.8	14.6	38	0.4	420	958	922
65.8	7.4	27	0.3	449	1,072	1,061
75.4	13.2	47	0.3	498	1,237	1,233
70.2	14.0	38	0.4	466	735	715
66.4	27.8	29	1.0	432	577	553
68.6	14.4	42	0.4	447	727	707
72.9	21.6	45	0.5	464	883	847
72.3	16.3	36	0.5	447	1,475	1,463
62.1	11.6	33	0.4	419	482	474
67.9	25.5	41	0.6	442	1,497	1,446
80.8	30.3	37	0.8	439	598	544
66.3	17.9	42	0.4	434	522	486
64.4	19.3	25	0.8	419	553	513
63.7	18.4	34	0.6	438	1,260	1,221
63.9	38.3	30	1.3	466	878	835
62.0	17.8	52	0.3	458	1,234	1,144
59.4	23.7	34	0.7	460	2,171	2,137
58.5	16.5	27	0.6	425	857	822
63.4	28.6	40	0.7	445	1,233	1,202
68.2	34.9	51	0.7	486	911	856
61.5	44.9	19	2.5	424	717	692

Tabela 17 – Resumo do dia 31/03

Distância (km)	Distância (ex-CD) (km)	# de Entregas	Disância Média entre pontos (km)	Frota Própria	Courier 1	Courier 2
124.6	21.4	20	1.1	472	990	965
119.7	18.0	26	0.7	467	883	839
115.9	9.8	10	1.1	456	437	411
111.9	25.9	26	1.0	470	1,519	1,516
121.3	20.9	19	1.2	479	839	823
114.8	15.3	25	0.6	466	1,182	1,140
118.9	15.0	24	0.7	470	1,075	1,049
107.2	19.6	29	0.7	485	1,689	1,676
122.3	23.3	24	1.0	467	1,143	1,122
113.9	18.2	29	0.6	462	1,068	1,023
114.0	13.0	29	0.5	468	967	924
119.0	23.5	24	1.0	470	1,418	1,403
100.8	11.0	21	0.5	451	1,299	1,301
109.4	16.7	19	0.9	459	628	594
106.8	17.4	29	0.6	472	1,135	1,098
108.1	13.6	20	0.7	452	594	557
110.9	17.7	21	0.9	460	576	552
101.6	13.7	32	0.4	466	918	880
108.6	16.9	32	0.5	467	1,009	942
103.5	22.3	19	1.2	458	876	865
97.5	21.4	25	0.9	452	1,052	1,039
111.8	19.7	28	0.7	464	788	727
96.1	8.5	16	0.6	449	170	144
109.9	18.8	25	0.8	472	845	802
94.2	9.7	10	1.1	438	717	716
96.6	13.0	20	0.7	445	515	484
101.1	18.8	31	0.6	464	1,433	1,383
100.7	14.7	23	0.7	446	1,210	1,189
102.6	21.4	30	0.7	471	1,550	1,526
100.5	15.9	33	0.5	454	703	671
100.9	19.4	32	0.6	466	942	885
95.3	15.7	35	0.5	455	1,372	1,338
91.9	12.4	27	0.5	456	655	613
96.9	14.7	34	0.4	470	1,081	1,048
96.5	13.6	34	0.4	451	1,135	1,118
91.1	15.2	29	0.5	446	500	450
91.8	15.3	27	0.6	446	411	381
96.2	20.0	33	0.6	468	1,135	1,089
89.8	12.6	40	0.3	469	994	951
89.3	17.3	33	0.5	451	1,049	1,041
88.7	11.9	24	0.5	445	647	629
84.1	14.3	33	0.4	451	958	942
108.8	31.7	15	2.3	451	767	744
91.9	16.4	33	0.5	450	1,099	1,094

84.3	9.2	15	0.7	441	392	370
82.4	21.0	28	0.8	444	1,434	1,408
80.3	9.6	28	0.4	432	324	311
85.7	14.8	45	0.3	451	521	460
84.9	16.1	38	0.4	456	1,609	1,580
84.0	12.0	37	0.3	449	627	578
87.2	16.9	21	0.8	450	688	682
86.9	12.2	38	0.3	445	1,070	1,019
82.4	11.2	27	0.4	445	830	853
89.5	14.3	39	0.4	468	1,533	1,497
78.5	10.4	50	0.2	450	926	898
73.2	12.2	35	0.4	480	992	988
82.3	14.2	35	0.4	452	775	746
73.9	5.5	18	0.3	423	189	183
86.6	19.7	41	0.5	480	1,347	1,315
84.9	30.5	32	1.0	454	541	488
81.5	19.8	46	0.4	493	841	765
80.2	11.3	46	0.3	450	865	788
75.9	12.5	49	0.3	487	1,678	1,664
73.3	15.6	50	0.3	494	680	639
85.2	23.3	41	0.6	472	1,630	1,577
69.1	9.8	36	0.3	472	1,198	1,172
76.1	13.4	26	0.5	455	761	736
80.0	21.3	42	0.5	469	915	865
97.0	49.7	45	1.1	456	429	353
72.8	17.5	40	0.4	461	814	780
70.2	9.4	31	0.3	488	1,209	1,201
63.1	13.3	51	0.3	437	1,044	1,016
67.6	10.8	50	0.2	454	1,271	1,255
72.8	17.4	45	0.4	461	2,177	2,142
72.4	21.1	38	0.6	446	926	874
65.1	24.4	50	0.5	442	785	712
70.4	15.2	38	0.4	437	620	599
62.7	18.9	42	0.5	436	892	845
60.3	17.8	30	0.6	412	529	484
72.8	21.3	48	0.5	459	635	604
65.5	14.2	27	0.5	429	569	530
62.9	16.5	38	0.4	426	639	584
56.6	19.8	49	0.4	418	525	430
58.7	22.7	37	0.6	425	692	651
85.2	36.2	26	1.4	442	376	316
62.2	36.4	32	1.2	424	955	908
52.7	20.7	36	0.6	438	944	910
57.2	28.9	36	0.8	430	616	568

Tabela 18 – Resmo do dia 01/04

Distância (km)	Distância (ex-CD) (km)	# de Entregas	Disância Média entre pontos (km)	Frota Própria	Courier 1	Courier 2
105.3	41.4	17	2.6	455	332	312
123.1	22.6	22	5.9	475	776	750
130.0	40.3	25	5.4	480	401	357
130.9	28.8	22	6.2	477	184	147
120.7	17.9	26	4.8	485	912	879
109.6	12.7	17	6.9	469	452	426
122.9	26.4	21	6.1	470	577	561
125.2	30.1	23	5.7	478	1,192	1,204
95.6	17.9	31	3.2	458	1,802	1,785
111.8	30.2	31	3.7	459	414	364
111.5	17.1	19	6.2	461	813	782
109.7	18.7	27	4.2	467	624	597
102.9	19.3	31	3.4	457	1,324	1,291
105.1	22.2	24	4.6	458	1,266	1,283
115.0	21.0	20	6.1	464	225	178
104.9	23.1	25	4.4	465	612	587
99.3	22.7	33	3.1	457	703	667
102.4	25.6	28	3.8	465	301	264
100.5	32.0	36	2.9	462	442	405
66.0	0.0	1	66.0	409	15	14
92.5	18.4	29	3.3	460	1,115	1,112
93.3	21.9	23	4.2	445	1,371	1,363
86.6	15.7	40	2.2	473	711	690
83.1	12.3	19	4.6	443	257	230
84.2	13.5	21	4.2	438	610	574
83.0	18.2	33	2.6	455	350	324
91.5	26.0	23	4.2	456	340	306
83.3	27.4	35	2.4	446	997	957
81.3	31.2	38	2.2	460	1,061	1,025
79.3	15.6	38	2.1	452	619	597
86.2	35.8	30	3.0	451	927	880
72.2	39.0	40	1.9	460	755	713
78.6	17.8	42	1.9	505	878	837
75.5	16.4	34	2.3	486	1,511	1,498
74.9	18.3	46	1.7	432	726	705
64.1	12.0	29	2.3	444	708	679
78.8	19.5	30	2.7	438	1,064	1,060
75.3	17.7	40	1.9	449	1,149	1,141
65.8	18.1	35	1.9	444	1,119	1,085
76.5	56.4	35	2.2	459	1,459	1,434
74.7	33.3	37	2.1	465	649	575
113.8	63.2	36	3.3	497	859	832
62.1	18.5	28	2.3	438	1,273	1,253
64.7	18.9	21	3.2	425	384	352

Tabela 19 – Resmo do dia 02/04