



PROJETO DE GRADUAÇÃO

Entrega de encomendas de uma agência dos Correios por métodos heurísticos de roteirização

Por,
Julia Cristina Souza de Queiroz

Brasília, 7 de dezembro de 2017.

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

**FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
Faculdade de Tecnologia
Departamento de Engenharia de Produção

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
Faculdade de Tecnologia
Departamento de Engenharia de Produção

PROJETO DE GRADUAÇÃO

Entrega de encomendas de uma agência dos Correios por métodos heurísticos de roteirização

Por,

Julia Cristina Souza de Queiroz

Relatório submetido como requisito parcial para obtenção do título de Graduação em Engenharia de Produção.

Banca Examinadora

Prof. Sérgio Ronaldo Granemann (orientador) _____

Luíza Lavocat Galvão de Almeida Coelho _____

Brasília, 7 de dezembro de 2017

Agradecimentos

Aos meus pais, Isa Magna Souza de Queiroz e José Ebert Sousa de Queiroz e ao meu irmão Raphael Luis Souza de Queiroz, que me acompanham em todos os momentos da vida, sempre me apoiando.

Aos meus avós, Isaura da Silva Souza e Fernando Penalva de Souza por me apoiarem e estarem presentes em todos os momentos da minha vida.

Ao meu namorado Kaio Neves de Farias, que me deu total apoio nessa fase final do curso e que esteve ao meu lado ajudando e comemorando todas as minhas vitórias.

Às minhas amigas que me acompanham desde o ensino médio e que entraram junto comigo na Universidade de Brasília por toda a paciência e cumplicidade.

Aos meus colegas de curso com os quais compartilhei momentos de felicidade e dificuldade em toda a minha jornada universitária.

Ao professor Sérgio Granemann, por toda paciência e conhecimentos compartilhados.

Com carinho,
Julia Cristina Souza de Queiroz

RESUMO

Atualmente, o consumidor brasileiro está cada vez mais preocupado em fazer compras com comodidade, com preços mais baixos e mais rapidamente. Através desse cenário, o *e-commerce* vem ganhando força. As transações do *e-commerce* são todas feitas por meios eletrônicos. Ao mesmo tempo que o consumidor brasileiro está preocupado com a sua comodidade, eles estão cada vez mais exigentes e dão muita importância para fatores como prazo e custos de entregas. Com isso, é importante alinhar as práticas do *e-commerce* com os fatores logísticos para que o nível de serviço entregue ao cliente seja cada vez melhor. O foco do presente trabalho é a entrega de encomendas por uma Agência dos Correios aos clientes. Para otimizar o processo de entrega, utilizou-se dois métodos de roteirização: a heurística do vizinho mais próximo e a inserção do ponto mais distante. Os dois métodos escolhidos são para roteirizações sem restrições, visto que restrições como capacidade do veículo e tempo de entrega já foram atendidas. Após um estudo dos custos logísticos relacionados, o trabalho identificou a possibilidade de redução de custos, visto que as distâncias percorridas pela roteirização ideal são menores que no cenário atual.

Palavras-chaves: *e-commerce*, roteirização, heurística do vizinho mais próximo, inserção do ponto mais distante.

ABSTRACT

Currently, the Brazilian consumer is increasingly worried about making purchases with convenience, with lower prices and faster. Through this scenario, e-commerce has been gaining strength. E-commerce transactions are all done by electronic media. At the same time the Brazilian consumer is concerned about their convenience, they are increasingly demanding and attach great importance to factors such as deadline and delivery costs. Thereby, it is important to align e-commerce practices with logistics factors so that the level of service delivered to the customer becomes better. The focus of this work is the delivery of orders by a Post Office to customers. To optimize the delivery process, two methods of routing were used: the nearest neighbor heuristic and the insertion of the most distant point. The two methods chosen are for unrestricted scheduling, since constraints such as vehicle capacity and delivery time have already been attended. After a study of the related logistical costs, the work identified the possibility of cost reduction, since the distances traveled by the ideal routing are smaller than in the current scenario.

Keywords: *e-commerce*, routing, the nearest neighbor heuristic, insertion of the most distant point.

SUMÁRIO

1.INTRODUÇÃO	11
1.1 Contextualização.....	11
1.2 Objetivos	13
1.3 Justificativa	13
1.4 Metodologia	14
1.5 Estrutura do Trabalho	15
2.REFERENCIAL TEÓRICO.....	16
2.1 Roteirização	16
2.2 Tipos de Problemas	18
2.3 Roteirização sem restrições	18
3.APLICAÇÃO DOS MÉTODOS DE ROTEIRIZAÇÃO.....	22
3.1 Dados do Problema	22
3.2 Aplicação da Heurística do Vizinho mais Próximo	24
3.3 Aplicação do Método de Inserção do Ponto mais Distante	29
4.ANÁLISE DE DADOS.....	34
4.1 Custos Logísticos.....	35
5.CONCLUSÃO	39
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	40
APÊNDICE I.....	43
APÊNDICE II.....	47
APÊNDICE III.....	51
ANEXO I.....	56

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: E-commerce nos Correios

Figura 2: Heurística do vizinho mais próximo

Figura 3: Inserção do ponto mais distante

Figura 4: Método 2-opt

Figura 5: Método 3-opt

Figura 6: Roteiro 1 com heurística do vizinho mais próximo

Figura 7: Heurística do vizinho mais próximo com método 2-OPT

Figura 8: Roteiro 1 com inserção do ponto mais distante

Figura 9: Inserção do ponto mais distante com melhorias

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Casos de sucesso de roteirizações

Quadro 2: Especificações do problema

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Exemplo de informações de um dia de distribuição

Tabela 2: Exemplo de matriz das distâncias dos pontos do primeiro dia

Tabela 3: Resultados Heurística do Vizinho mais Próximo

Tabela 4: Resultado Segundo Dia Heurística do Vizinho mais Próximo

Tabela 5: Resultado Terceiro Dia Heurística do Vizinho mais Próximo

Tabela 6: Resultado Quarto Dia Heurística do Vizinho mais Próximo

Tabela 7: Resultado Quinto Dia Heurística do Vizinho mais Próximo

Tabela 8: Resultados Inserção do Ponto mais Distante

Tabela 9: Resultados Segundo Dia Inserção do Ponto mais Distante

Tabela 10: Resultados Terceiro Dia Inserção do Ponto mais Distante

Tabela 11: Resultados Quarto Dia Inserção do Ponto mais Distante

Tabela 12: Quinto Dia Inserção do Ponto mais Distante

Tabela 13: Ganhos da Heurística do Vizinho mais Próximo

Tabela 14: Ganhos da Inserção do Ponto mais Distante

Tabela 15: Informações Gerais do Roteiro Real

Tabela 16: Informações Gerais do Roteiro Ideal

Tabela 17: Custos Variáveis

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Horas Trabalhadas em Atividades Internas por Mês

Gráfico 2: Custo de Gasolina por Ano

1. INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização

O crescimento da internet na década de 90 mudou profundamente a forma como o comércio era realizado. A *web* possibilitou que transações, anteriormente feitas apenas de modo tradicional, fossem feitas a longas distâncias e em um curto período de tempo. (ALVES *et al.*, 2004).

De acordo com Laudon e Laudon (2004), a partir da década de 90, o *e-commerce* ou comércio eletrônico começou a ganhar importância. O comércio eletrônico é feito a partir de transações por meio de computadores e comunicação de dados. Toda a cadeia de valor dos processos de negócio é feita num ambiente eletrônico, através da aplicação intensa de tecnologias de comunicação e de informação, atendendo aos objetivos de compra e venda de informações, produtos e serviços (ALVES *et al.*, 2004).

Atualmente, o consumidor brasileiro passou a utilizar mais os meios eletrônicos para comprar produtos e procurar serviços. Fatores como a comodidade, facilidade em realizar cotações, facilidade em buscar preços baixos e a agilidade do processo ajudam o consumidor a optar por esse tipo de comércio (SILVA & MOREIRA, 2010).

Segundo Novaes (2007), os clientes estão cada vez mais exigentes e dão muita importância para fatores logísticos, exigindo total pontualidade nos prazos de entregas de seus produtos. Com isso, faz-se necessário que as empresas desenvolvam novas formas de negociação com seus clientes. A constante globalização e mudança no mercado exige que as empresas tenham cada vez mais seus processos automatizados e informações em tempo hábil, viabilizando a excelência em serviços e produtos e custos competitivos. Com esse cenário, há uma estimulação na vantagem competitiva e isso faz com que as organizações optem pelo comércio eletrônico (FARIA & MULLER, 2006).

Um dos fatores de sucesso do comércio eletrônico é a entrega dos produtos corretamente e no prazo determinado. A escolha quanto ao produto, prazo de entrega e preços fica a critério de cada cliente. Para isso a empresa deve possuir logística eficiente para garantir os prazos estabelecidos e a fidelização dos clientes, inserindo assim a disponibilização de informações em tempo real para rastrear o produto comprado (CABRAL, 2001).

Visando às possibilidades de crescimento diante das perspectivas econômicas e sociais do Brasil, os Correios (www.correios.com.br) oferecem o serviço de comércio eletrônico, de acordo com a Figura 1.

Figura 1 - E-commerce nos Correios



Fonte: Autor

Segundo o site dos Correios (www.correios.com.br), cada operação tem a sua necessidade e o transporte de produtos sob encomenda deve ser adaptado de acordo com essa necessidade. Para isso e para atender às operações locais, regionais ou até nacionais, desde o recebimento dos pacotes de produtos até a entrega ao consumidor final, deve-se oferecer a logística integrada. Ela proporciona uma melhoria do controle pela informação de rastreamento, a eliminação do desperdício e o aumento da qualidade.

A logística integrada é, de acordo com Moura (2006), a integração de atividades a fim de reduzir custos e melhorar a eficiência logística da empresa. De acordo com Ballou (2006), caso o sistema de transporte seja pouco desenvolvido, além do mercado ficar limitado a áreas geograficamente próximas ao local do processo produtivo, o custo torna-se muito elevado, pois esse sistema pode absorver até cerca de dois terços dos custos logísticos totais. Com o sistema de transporte funcionando de forma eficiente e com baixos custos, ocorre um aumento da competitividade entre as empresas do mercado, aumento das economias de escala da produção e redução dos preços finais dos produtos. Portanto, reduzir os custos do sistema de transporte, melhorar os serviços ao cliente e obter os melhores roteiros para os veículos de distribuição, com o intuito de minimizar os tempos e as distâncias percorridas, são dificuldades frequentes de tomada de decisão da organização.

Novaes (2007) afirma que existem duas formas de transporte de cargas: completa e parcelada. Para cargas completas, o transporte é conhecido como “um para um”, isso significa que o transporte é realizado somente entre um fornecedor e um cliente. Para cargas parceladas, o transporte é conhecido como “um para muitos”. Nele cargas de diversos clientes possuem uma mesma origem e vários destinos, numa mesma viagem. Geralmente essa situação ocorre quando a carga de cada cliente não possui volume necessário para lotar um veículo. Assim, cargas de vários clientes são agregadas,

transportadas conjuntamente e englobadas as operações de coleta e união de cargas para a distribuição, seguindo um trajeto e sequência ideal de entrega.

Para a resolução do problema de transporte em situações de cargas parceladas deve ser feita uma roteirização (PINHEIRO E FILHO, 2014). Com o estabelecimento de uma forma de roteirização, ocorre um aumento no nível de serviço, redução dos custos e oferta de serviços que supera a expectativa do cliente (BALLOU, 2006). Além desses benefícios, a roteirização é uma estratégia que permite que a empresa torne-se cada vez mais competitiva.

Neste contexto, pode-se resumir o problema da pesquisa deste trabalho na seguinte pergunta: É possível tornar o processo de entregas de encomendas realizadas pelas agências dos Correios mais eficiente, possibilitando redução de custos, tempo e quilometragem?

1.2 Objetivos

O presente trabalho tem como objetivo geral identificar o método de roteirização mais adequado para uma agência dos Correios por meio da análise dos custos da operação.

Os objetivos específicos do trabalho são:

- Aplicar dois modelos de roteirização em um caso real de entrega de encomendas da agência dos Correios;
- Comparar os resultados dos modelos propostos com o modelo atual para identificar oportunidades de melhorias.

1.3 Justificativa

Os custos de transporte, atualmente, representam uma parcela significativa dos preços dos produtos. Por isso, com o intuito de diminuir esses custos, faz-se necessário uma distribuição eficiente de mercadorias (JÚNIOR, 2010).

Uma pesquisa desenvolvida, em 2015, pela Fundação Dom Cabral com 142 empresas de 22 segmentos industriais distintos mostrou que os custos logísticos consomem 11,73% de seu faturamento e que o transporte é o fator mais representativo nesses custos (FUNDAÇÃO DOM CABRAL, 2015 apud MARINS, 2016). De acordo com Wanke (2010), o transporte de cargas representa em média 64% dos custos logísticos

de uma empresa, 4,3% do seu faturamento, e, em alguns casos, mais que o dobro de seus lucros.

Os números acima mostram que o transporte é de fato o elemento mais importante das empresas em termos de custos logísticos, podendo chegar a dois terços do custo logístico total (BALLOU, 2006).

A logística de distribuição de produtos é extremamente importante para as empresas, pois a satisfação dos clientes está diretamente envolvida com a forma com que as empresas os atendem, além do papel que ela desempenha nos custos operacionais. (PEREIRA E SOUZA, 1999 apud MELO, 2000).

Considerando todo o contexto apresentado, a entrega de encomendas tem que ser bem planejada, pois está diretamente ligada à satisfação do cliente. Além de atingir a satisfação dos clientes, o planejamento dessa rota deve ser feito a fim de reduzir os custos, tempo de entregas e o deslocamento percorrido.

1.4 Metodologia

Para desenvolver a pesquisa, foi necessário adotar os passos metodológicos a seguir:

1° passo - Elaborou-se uma revisão bibliográfica a fim de levantar quais métodos de roteirização são mais utilizados para problemas similares.

2° passo - A partir da revisão bibliográfica foram identificados dois métodos adequados para a realização da comparação com a roteirização já realizada pela agência dos Correios. Os métodos escolhidos foram o da inserção do ponto mais distante e a heurística do vizinho mais próximo.

3° passo - Os dados para a resolução do problema foram retirados do trabalho de Gonçalves (2016). Os dados como localização de cada cliente e tempo de descarga em cada cliente foram compilados e adaptados para o problema em estudo. A agência dos Correios escolhida para o estudo localiza-se na SHIS EQL 6/8 e realiza entregas de cargas parceladas todos os dias úteis da semana seguindo um roteiro montado de forma empírica pelo próprio entregador.

4° passo - Com esses dados compilados, foram feitas as roteirizações por meio dos métodos escolhidos.

5° passo - Ao término das roteirizações para a entrega das encomendas aos clientes, contendo a distância total percorrida, tempo de entrega, foram calculados os

custos para a realização das operações logísticas estabelecidas, a partir do levantamento de custos fixos e variáveis para o veículo Renault Kangoo para fazer as entregas.

6º passo - Depois de calculados os custos da operação de roteirização, foi feita uma comparação entre as entregas feitas pela própria empresa, a Agência dos Correios, com os dois métodos propostos e identificou-se o método mais efetivo para a redução dos custos logísticos para a empresa.

1.5 Estrutura do Trabalho

O presente trabalho está estruturado de acordo com os seguintes capítulos:

1- O primeiro capítulo contempla a contextualização e justificativa do projeto, além dos objetivos a serem alcançados e a estrutura do trabalho.

2- O segundo capítulo trará o referencial teórico sobre os métodos de roteirização.

3- O terceiro capítulo refere-se à escolha dos métodos de roteirização utilizados para realizar a comparação, ao levantamento e tratamento dos dados a serem utilizados no processo de roteirização e à aplicação dos métodos escolhidos.

4- O quarto capítulo refere-se ao cálculo dos custos logísticos identificados para o roteiro ideal.

5- O quinto capítulo apresenta a conclusão e propostas para trabalhos futuros.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Roteirização

O termo “Roteirização” é usado para designar o processo de determinação de um ou mais roteiros ou sequências de paradas a serem cumpridos por veículos de uma frota, objetivando visitar uma quantidade de locais dispersos geograficamente que necessitem atendimento (CUNHA, 2000).

Três fatores fundamentais definem um problema real de roteirização: decisões, objetivos e restrições (PARTYKA & HALL, 2000). As decisões dizem respeito à alocação dos clientes que devem ser visitados, a um conjunto de motoristas e veículos, à programação e o sequenciamento que deve ser seguido.

A roteirização tem como objetivos principais propiciar ao cliente um alto nível de serviço, porém sempre visando manter os custos operacionais e de capital os mais baixos possíveis. O terceiro fator fundamental são as restrições que devem ser seguidas para que a roteirização seja de fato a melhor possível. Primeiramente, as rotas devem ser cumpridas com os recursos disponíveis, mas sempre respeitando os compromissos firmados com os clientes. Em segundo lugar, devem ser respeitados os limites de tempos de jornada de trabalho dos motoristas e ajudantes. E em terceiro, as restrições de trânsito, como velocidade da via, horários de cargas/descargas, tamanho máximo dos veículos em vias públicas, etc.

Segundo Novaes (2004), os problemas de roteirização ocorrem nos mais diversos ramos de distribuição de produtos e serviços. Alguns exemplos são citados por este autor:

- 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.

Analisando alguns casos de sucesso de roteirizações, elaborou-se o Quadro 1. Confirmando o que Novaes (2004) afirmou, os problemas de roteirização ocorrem nos mais diversos ramos de serviços.

Quadro 1 - Casos de sucesso de roteirização

Empresa/Ramo	Problema	Método Utilizado	Resolução
<p>Empresa de distribuição de materiais de construção em Francisco Beltrão.</p>	<p>Rotas calculadas manualmente e com conhecimento dos motoristas.</p>	<p>Problema do Caixeiro Viajante – PCV com a utilização do software <i>Scilab</i>.</p>	<p>Segundo Reis <i>et al.</i>, (2016), para as heurísticas utilizadas, o resultado obtido se mostrou melhor que a rota anteriormente utilizada. As rotas com as heurísticas do Vizinho mais Próximo e Subcircuito Inverso foram reduzidas.</p>
<p>Empresa de grande porte de transporte e distribuição de cargas fracionadas, localizada em São Paulo.</p>	<p>A metodologia utilizada pela empresa é baseada apenas em conhecimento empíricos.</p>	<p>Varredura com o auxílio do software ArcGIS.</p>	<p>De acordo com Souza <i>et al.</i>, (2014), o modelo proposto obteve significativos ganhos em comparação com a situação atual da empresa. As reduções no percurso, custos e quantidades de veículos foram de 21%, 30,3%, 71, 8%, respectivamente.</p>
<p>Deli Shop, empresa de produção e entrega de sanduíches.</p>	<p>A empresa não conta com um roteiro determinado e as janelas de tempo e a ordem de prioridade não são consideradas.</p>	<p>Clarke & Wright – método das economias.</p>	<p>Segundo Luna <i>et al.</i>, (2015), o método ofereceu uma solução que permite que a empresa tenha uma redução nos custos, quanto no tempo de entrega.</p>

Empresa/Ramo	Problema	Método Utilizado	Resolução
Empresa do ramo salineiro do Rio Grande do Norte.	A empresa tem elevados gastos mensais com a distribuição do sal.	Problema do Caixeiro Viajante – PCV com o auxílio do software LINDO.	De acordo com Braga <i>et al.</i> , (2015), com a aplicação do método foi possível determinar a menor rota que o caminhão deve percorrer e, com isso, diminuir os custos logísticos da empresa.

Fonte: Autor

2.2 Tipos de Problemas

De acordo com Ballou (2006), apesar de existirem muitas variações dos problemas de roteirização, é possível reduzi-los a alguns modelos. Existem os problemas que buscam encontrar uma rota ao longo de um caminho que possui destino e origem diferentes, os problemas que possuem múltiplos pontos de origem e destino e os problemas que possuem os mesmos pontos de origem e de destino.

Segundo Novaes (2007), existem dois grandes grupos em que as restrições podem ser divididas: com ou sem restrições. As restrições a seguir são incluídas:

- A escala pode ser de coleta ou entrega de produtos;
- Tempo máximo de tráfego de cada rota;
- Capacidade do veículo, incluindo volume e peso;
- Tempo de descanso e refeição dos motoristas;
- Períodos do dia para coleta e entrega.

2.3 Roteirização sem restrições

Os problemas de roteirização sem restrições são resolvidos a partir de uma definição de uma sequência que deverá ser percorrida. Preocupações com as restrições de tempo e capacidade não devem ser levadas em consideração, já que se entende que essas restrições estão resolvidas. A roteirização sem restrições deixa de ser eficiente quando o número de clientes aumenta, deixando a operação mais complexa. Esse tipo de roteirização é conhecido como “Problema do Caixeiro Viajante – PVC” e tem o objetivo de minimizar o percurso total

a partir da determinação de pontos a serem seguidos (NOVAES, 2007). Os métodos para a resolução desse tipo de roteirização são agrupados em dois grupos:

- Métodos de construção de roteiro: Segundo Novaes (2007), nesses métodos, parte-se de um ponto inicial e acrescentam-se os outros pontos a serem percorridos.
- Métodos de melhoria de roteiros: esses métodos melhoram os roteiros gerados com a utilização de outros métodos.

2.3.1 Métodos de Construção de Roteiros

A construção dessa sistemática pode ser feita de duas maneiras: a partir do ponto mais próximo e a partir do ponto mais distante. A sistemática do ponto mais próximo é a mais simples. Une-se o ponto sempre ao outro ponto mais próximo, tomando cuidado para passar por todos os pontos que fazem parte do roteiro. Já a sistemática do ponto mais distante, inicia-se em um ponto e a partir desse ponto, procura-se o mais distante dele. Dessa forma, seleciona-se o terceiro ponto mais distante dos dois primeiros, e o quarto ponto mais distante dos três primeiros. A partir desse roteiro parcial, acrescentam-se os demais pontos, conforme a maior distância entre eles. Apesar de serem rápidas e oferecerem uma solução, essa sistemática exige a aplicação de uma melhoria de roteiro (NOVAES, 2007).

a) Heurística do Vizinho mais Próximo

Segundo Novaes (2007), os métodos de construção partem de um ou dois pontos, e após o acréscimo paulatino de pontos adicionais, o roteiro vai sendo construído. A heurística do Vizinho mais Próximo é uma sistemática na qual se conecta cada ponto ao seu vizinho mais próximo e é defendida pelo autor como a sistemática mais simples a ser aplicada.

De acordo com Cover e Hart (1967), a Heurística do Vizinho mais Próximo pode ser descrita de acordo com a Figura 1.

Figura 2 - Heurística do Vizinho mais Próximo

<p>Passo 1. Iniciar a roteirização a partir do depósito e designar este ponto como ponto i visitado ($i \in S$), onde S é o grupo de clientes visitados;</p> <p>Passo 2. Para cada ponto $j \notin S$, obter d_{ij} sendo este a respectiva distância entre o ponto i e j.</p> <p>Passo 3. Escolher o menor d_{ij} e marcar o ponto j como visitado;</p> <p>Passo 4. Faça o ponto j ser o ponto i;</p> <p>Passo 5. Se todos os pontos já foram visitados, encerrar o algoritmo;</p> <p>Passo 6. Caso contrário, retorne ao Passo 2.</p>
--

Fonte: Cover e Hart, 1967

Os cruzamentos de percursos não são permitidos. Portanto, após traçar o roteiro, é necessário verificar se existem cruzamentos e desfazê-los tendo o cuidado de manter os pontos mais próximos uns dos outros.

b) Inserção do Ponto mais Distante

O método de inserção do ponto mais distante é um processo de simples construção, não necessita de softwares e é mais eficiente que o método do vizinho mais próximo (NOVAES, 2007).

O funcionamento do método da Inserção do Ponto mais Distante baseia-se no seguinte passo a passo:

1º passo – Definir o ponto de origem do roteiro;

2º passo – Verificar qual é o ponto mais distante do ponto de origem;

3º passo – Traçar uma reta ligando os dois pontos;

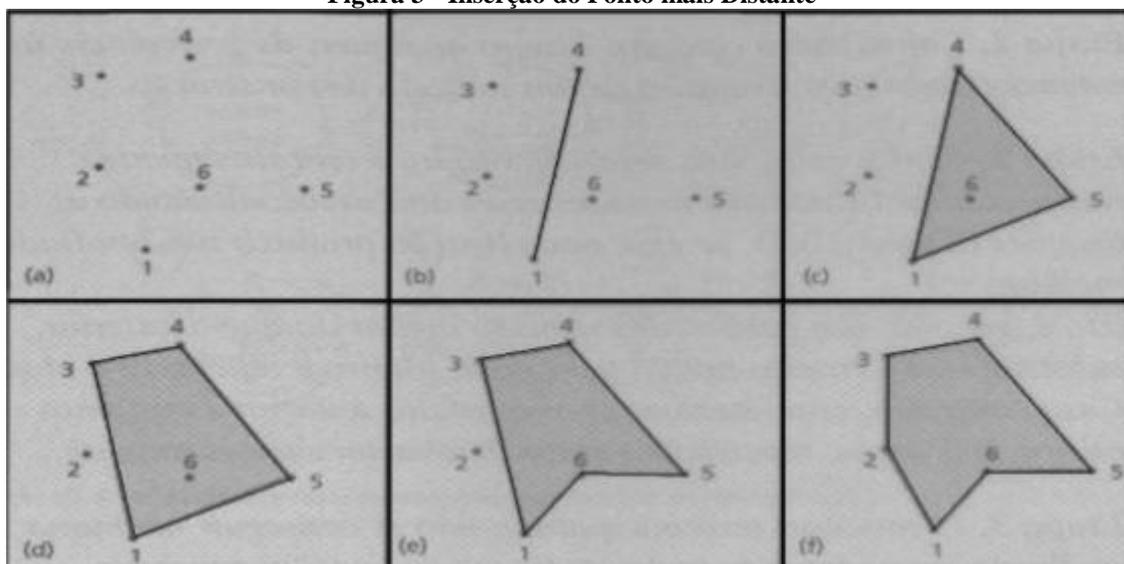
4º passo – Verificar qual o ponto mais distante do roteiro e adicioná-lo na rota, caso ainda não esteja;

5º passo – Traçar uma reta ligando o ponto à reta mais próxima a ele.

O passo 4 deve ser repetido até que todos os pontos estejam no roteiro (FONTES, 2006).

A Figura 2 ilustra o funcionamento do método da Inserção do Ponto mais Distante.

Figura 3 - Inserção do Ponto mais Distante

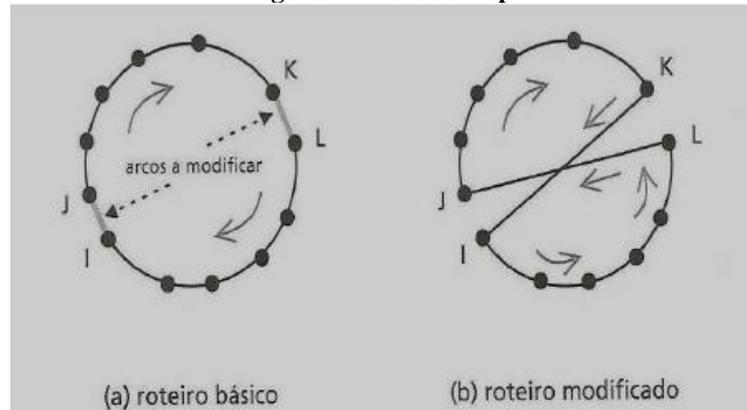


Fonte: Novaes, 2007

2.3.2 Métodos de Melhorias de Roteiro

Segundo Novaes (2007), os dois métodos mais utilizados de melhoria de roteiros são o 2-opt e o 3-opt. O método 2-opt é o mais simples e para executá-lo é necessária a remoção de cada quatro pontos, que são dois arcos, para verificar se o novo resultado é melhor com uma menor extensão, conforme Figura 3. O roteiro estará concluído e otimizado quando todos os arcos já foram trocados e não existirem mais modificações possíveis que gerem melhorias.

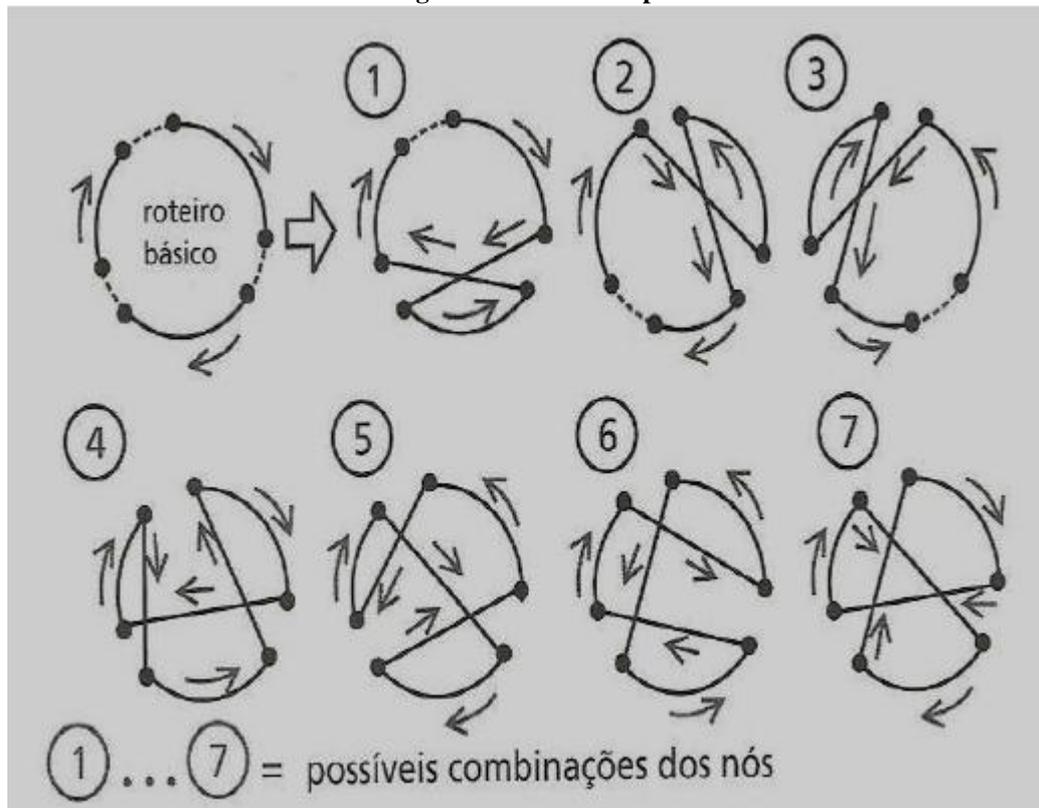
Figura 4 - Método 2-opt



Fonte: NOVAES, 2007

O método 3-opt utiliza três pares de pontos por vez, possibilitando um maior número de combinações e fornecendo maior precisão nos resultados, conforme Figura 4.

Figura 5 - Método 3-opt



Fonte: Novaes, 2007

3. APLICAÇÃO DOS MÉTODOS DE ROTEIRIZAÇÃO

Os problemas de roteamento de veículos (PRV) são comuns em diversos tipos de mercado e são solucionados de acordo com o método que consegue otimizar e reduzir os custos ao máximo.

No presente trabalho, o problema tratado é o de entrega de encomendas por um centro de distribuição dos Correios que possui as seguintes características:

- Transporte de encomendas de um centro de distribuição para muitos clientes;
- Os roteiros começam e terminam no mesmo centro de distribuição;
- Cada cliente possui o seu produto, não podendo distribuir o produto de um cliente para o outro;
- Cada cliente deve estar somente uma vez na rota;
- O veículo pode passar por vários clientes na mesma viagem;
- Não há horário estabelecido para as distribuições.

3.1 Dados do Problema

Os dados para resolução do problema foram todos retirados de Gonçalves (2016). O Quadro 2 contem as especificações do problema.

Quadro 2 - Especificações do problema

Especificações do problema		
Centro de distribuição	Veículo utilizado	Tempo de trabalho
SHIS EQL 6/8	Renault Kangoo	6 horas/dia

Fonte: Autor

As especificações representam o local onde o centro de distribuição está localizado, o tipo de veículo utilizado para realizar as entregas e o tempo de trabalho do responsável pela entrega. Em relação ao tempo de trabalho, o tempo de trabalho do entregador é de seis horas por dia. A empresa deseja que sejam dedicadas cinco horas por dia para a realização das entregas e uma hora por dia para a realização de atividades internas na empresa. Porém, acredita-se que as entregas estão sendo feitas em mais tempo do que o necessário e, com isso, o tempo de dedicação às atividades internas está sendo prejudicado.

Com as especificações do problema identificadas, informações sobre entregas feitas durante o período de uma semana foram levantadas. A Tabela 1 apresenta um exemplo das informações coletadas para o primeiro dia de entrega. Para cada dia de entrega é possível

montar um quadro como a Tabela 1. As tabelas com as informações dos demais dias encontram-se no Apêndice I.

Tabela 1 - Exemplo de informações de um dia de distribuição

1º dia de entrega					
Ordem	Endereço de entrega	Distância percorrida (km)	Tempo de deslocamento (h)	Tempo de parada (h)	Velocidade Real (km/h)
0	SHIS EQL 6/8				
1	SHIS QI 9	2	0,1	0,03	20,0
2	SHIS QI 17	4	0,18	0,07	21,82
3	SES quadra 801	6	0,13	0,33	45,00
4	SQN 202	10	0,37	0,1	27,27
5	SHIS QL 6	25	0,67	0,08	37,50
6	SHIS QL 8	3	0,1	0,08	30,00
7	SHIS QL 10	3	0,1	0,08	30,00
8	SHIS QI 3	6	0,2	0,12	30,00
9	SHIS QI 7	8	0,2	0,08	40,00
10	SHIS QI 5	3	0,13	0,1	22,50
11	SHIS QL 12	6	0,2	0,17	30,00
12	SHIS QL 6	5	0,17	0,08	30,00
13	SHIS QL 6	1	0,05	0,1	30,00
14	SHIS QI 11	5	0,18	0,13	27,27
15	SHIS QI 17	4	0,18	0,08	21,82
16	SQS 310	10	0,33	0,08	30,00
17	SQS 316	5	0,17	0,08	30,00
18	SQS 205	6	0,2	0,08	30,00
	SHIS EQL 6/8	8	0,2		40,00
	Somas	120	3,86	1,9	
	Totais		5,77		29,64

Fonte: Adaptado de Gonçalves, 2016

Todas as informações contidas na Tabela 1 possuem fundamental importância para a resolução do problema. A ordem apresentada indica o roteiro seguido pelo entregador. Os endereços de entrega representam os locais onde as entregas foram feitas e estão simplificados por questões de sigilo dos clientes. A distância percorrida indica, em quilômetros, a distância entre um ponto e outro. O tempo de deslocamento, em horas, é o tempo gasto para ir de um ponto a outro e o tempo de parada, também em horas, é o tempo que foi necessário para se realizar a entrega. A velocidade real foi calculada pela divisão da distância percorrida pelo tempo de deslocamento. Por fim, calculou-se a distância total percorrida, o tempo dedicado às entregas e a velocidade média do veículo para esse dia de entregas.

A ordem apresentada na Tabela 1 foi tomada como base para identificação dos pontos de entrega. Para a aplicação dos métodos escolhidos, é necessário o conhecimento das distâncias entre cada um dos pontos. A Tabela 2 é um exemplo de matriz das distâncias para o primeiro dia de entrega. As matrizes das distâncias dos demais dias encontram-se no Anexo I.

Tabela 2 – Exemplo de matriz das distâncias dos pontos do primeiro dia

Distâncias em km - dia 1																			
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
0	-	2,5	5,2	6,5	9,3	1,4	1,3	2,6	3,3	1,4	2,3	5,4	1,4	0,9	4,3	5,8	5,1	6,5	4,9
1		-	4,7	5,8	9,2	3,2	1,9	0,55	5,2	0,95	4	3,3	3,2	2,6	2,1	5,3	6,8	8,2	6,7
2			-	9	12,4	6,3	5,1	5,2	7,1	4,7	5,9	5,4	6,3	5,8	6,7	1,3	11,9	14,7	9,9
3				-	4,7	7,4	6,9	5,5	9,5	6,5	8,3	5,6	7,4	6,8	4,4	9,9	6,1	9,6	3,6
4					-	10,7	10,3	9	12,8	10	11,6	9,5	10,7	10,2	7,9	13,3	7,1	9,2	6
5						-	1,9	4,1	2,1	2,5	1,1	6,5	0	1,5	4,9	6,4	6,8	8,1	6,7
6							-	3,5	3,3	2	2,4	5,5	1,5	0,9	4,3	5,9	5,2	6,6	5
7								-	5,1	1,3	3,9	3,2	3	2,5	2,1	6,1	6,7	8,1	6,6
8									-	4,1	1,4	7,6	2	2,9	6,4	7	8,4	7,8	8,3
9										-	3,3	3,9	2,5	1,9	2,7	5,6	6,2	7,6	6,1
10											-	6,3	1,6	2,5	5	5,8	7,1	8,6	7
11												-	5,5	4,9	2,4	6,2	7,7	10,5	5,7
12													-	0,8	4,9	6,4	6,8	8,1	6,7
13														-	4,5	5,8	6,2	7,6	6
14															-	5,6	7,4	10,1	5,3
15																-	12,5	15,3	10,5
16																	-	3,3	3,2
17																		-	5,4
18																			-

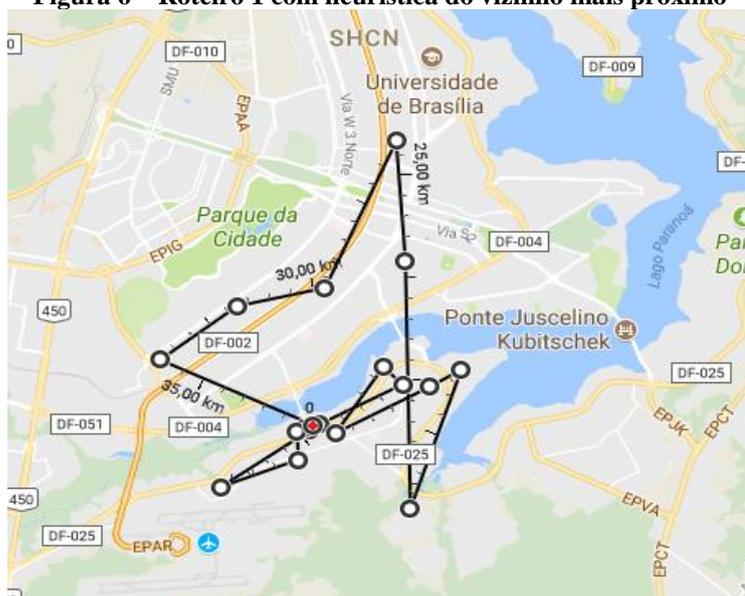
Fonte: Gonçalves, 2016

3.2 Aplicação da Heurística do Vizinho mais Próximo

O primeiro método de roteirização aplicado foi a heurística do vizinho mais próximo. Para iniciar a aplicação do método, escolheu-se o endereço do centro de distribuição como ponto de partida. A partir daí, adicionou-se o ponto mais próximo do mesmo. Após isso, o procedimento foi repetido aos demais pontos, sempre os conectando aos vizinhos mais próximos, até que todos os destinos fossem agregados no roteiro.

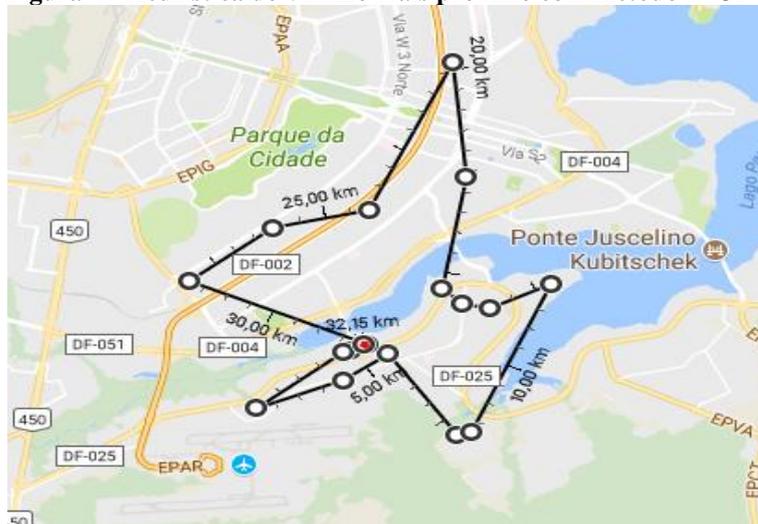
A Figura 6 representa o roteiro criado de acordo o modelo proposto. Figuras idênticas à Figura 6 foram criadas para os demais dias de roteirização e encontram-se no Apêndice II.

Figura 6 – Roteiro 1 com heurística do vizinho mais próximo



No roteiro criado através da heurística do vizinho mais próximo, são identificados alguns cruzamentos de percurso. Para solucionar esse problema, utilizou-se o Método 2-OPT, que trabalha especificamente na eliminação dos cruzamentos de percurso.

Figura 7 - Heurística do vizinho mais próximo com método 2 -OPT



Após a aplicação da heurística do vizinho mais próximo e do método 2-OPT, obtiveram-se os resultados apresentados na Tabela 3. O mesmo procedimento foi feito para os demais dias da semana. As Tabelas 4, 5, 6 e 7 apresentam os resultados dos roteiros montados para o segundo, terceiro, quarto e quinto dia, respectivamente, de acordo com a heurística do vizinho mais próximo.

Tabela 3 - Resultados da Heurística do Vizinho mais Próximo

1° dia		
	Real	Vizinho mais próximo
Roteiro	0-1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11-12-13-14-15-16-17-18-0	0-13-12-5-8-10-9-15-2-11-14-1-7-3-4-18-16-17-6-0
Distância Percorrida (km)	120	55,6
Tempo de deslocamento (h)	3,87	1,75
Tempo de trabalho	5,77	3,65
Velocidade média (km/h)	29,64	31,77

Fonte: Autor

Tabela 4 - Resultado Segundo dia Heurística do Vizinho mais Próximo

2° dia		
	Real	Vizinho mais próximo
Roteiro	0-19-20-21-22-23-24-25-26-27-28-29-30-31-32-33-34-35-0	0-21-31-29-23-27-28-26-25-24-22-30-19-32-20-35-33-34-0
Distância Percorrida (km)	75	55,5
Tempo de deslocamento (h)	2,75	1,96
Tempo de trabalho	5,03	4,24
Velocidade média (km/h)	27,27	28,32

Fonte: Autor

Tabela 5 - Resultado Terceiro Dia Heurística do Vizinho mais Próximo

3° dia		
	Real	Vizinho mais próximo
Roteiro	0-36-37-38-39-40-41-42-43-44-45-46-47-48-49-50-51-52-0	0-48-41-47-40-42-43-45-46-44-39-51-38-50-52-36-49-37-0
Distância Percorrida (km)	82	54,9
Tempo de deslocamento (h)	3,07	1,53
Tempo de trabalho	3,98	2,44
Velocidade média (km/h)	28,36	35,88

Fonte: Autor

Tabela 6 - Resultado Quarto Dia Heurística do Vizinho mais Próximo

4° dia		
	Real	Vizinho mais próximo
Roteiro	0-53-54-55-56-57-58-59-60-61-62-63-64-65-0	0-53-65-54-63-64-55-56-57-58-62-59-61-60-0
Distância Percorrida (km)	82	47,5
Tempo de deslocamento (h)	3,23	1,33
Tempo de trabalho	4,35	2,45
Velocidade média (km/h)	22,18	35,71

Fonte: Autor

Tabela 7 - Resultado Quinto Dia Heurística do Vizinho mais Próximo

5° dia		
	Real	Vizinho mais próximo
Roteiro	0-66-67-68-69-70-71-72-73-74-75-76-77-78-79-80-81-82-83-84-0	0-74-73-70-66-75-69-77-76-78-81-82-67-79-80-68-83-84-72-71-0
Distância Percorrida (km)	120	77,7
Tempo de deslocamento (h)	3,63	1,98
Tempo de trabalho	6,01	4,46
Velocidade média (km/h)	31,5	39,24

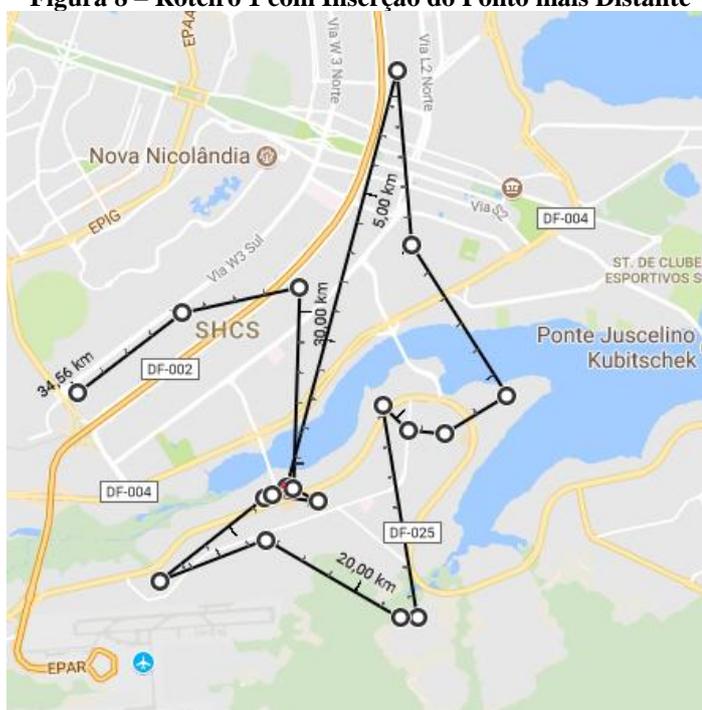
Fonte: Autor

3.3 Aplicação do Método de Inserção do Ponto mais Distante

O segundo método aplicado foi o de inserção do ponto mais distante. Através das distâncias calculadas no Quadro 4, identificou-se que o ponto mais distante do centro de distribuição dos Correios era o ponto 4. Após isso, o próximo passo foi identificar o cliente mais distante do ponto 4, que foi o 15. Esse processo foi repetido até que todos os pontos a serem atendidos fossem agrupados no roteiro.

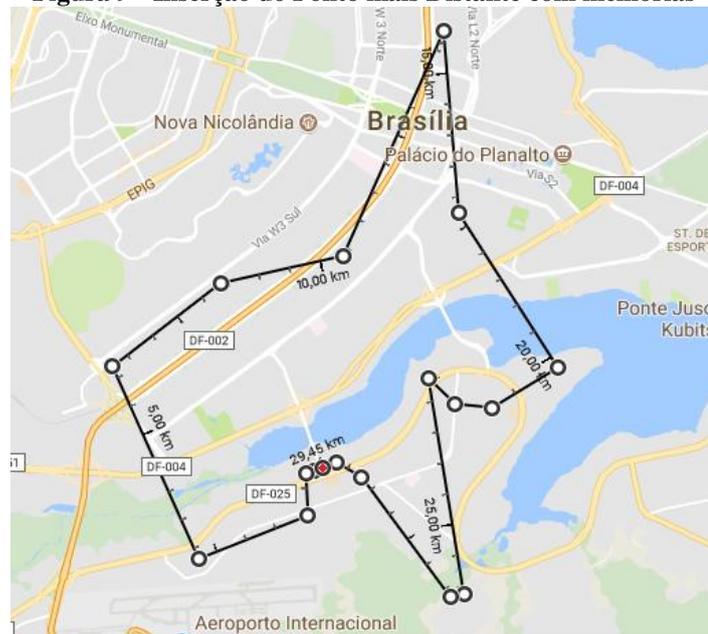
A Figura 8 representa o roteiro criado através da aplicação do método proposto. Figuras idênticas à Figura 8 foram criadas para os demais dias de roteirização e encontram-se no Apêndice III.

Figura 8 – Roteiro 1 com Inserção do Ponto mais Distante



Após a aplicação do método da inserção do ponto mais distante, foram observados alguns cruzamentos no percurso. Para solucionar o problema, aplicou-se o método de melhoria 2-OPT. A Figura 9 mostra o roteiro melhorado.

Figura 9 - Inserção do Ponto mais Distante com melhorias



Os resultados obtidos após a aplicação do método da inserção do ponto mais distante são apresentados na Tabela 8. O mesmo procedimento foi feito para os demais dias da semana. As Tabelas 9, 10, 11 e 12 apresentam os resultados dos roteiros montados para o segundo, terceiro, quarto e quinto dia, respectivamente, de acordo com a inserção do ponto mais distante.

Tabela 8 - Resultados Inserção do Ponto mais Distante

1° dia		
	Real	Ponto mais distante
Roteiro	0-1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11-12-13-14-15-16-17-18-0	0-13-12-5-10-8-17-16-18-4-3-11-14-1-7-2-15-9-6-0
Distância Percorrida (km)	120	55,35
Tempo de deslocamento (h)	3,87	1,48
Tempo de trabalho	5,77	3,39
Velocidade média (km/h)	29,64	37,40

Fonte: Autor**Tabela 9 - Resultados Segundo Dia Inserção do Ponto mais Distante**

2° dia		
	Real	Ponto mais distante
Roteiro	0-19-20-21-22-23-24-25-26-27-28-29-30-31-32-33-34-35-0	0-35-34-33-21-28-25-26-23-29-31-27-24-30-22-20-32-19-0
Distância Percorrida (km)	75	60,3
Tempo de deslocamento (h)	2,75	1,72
Tempo de trabalho	5,03	4
Velocidade média (km/h)	27,27	35,06

Fonte: Autor

Tabela 10 - Resultados Terceiro Dia Inserção do Ponto mais Distante

3° dia		
	Real	Ponto mais distante
Roteiro	0-36-37-38-39-40-41-42-43-44-45-46-47-48-49-50-51-52-0	0-48-45-46-41-47-42-43-44-39-40-51-38-50-36-52-49-37-0
Distância Percorrida (km)	82	56,6
Tempo de deslocamento (h)	3,07	1,62
Tempo de trabalho	3,98	2,53
Velocidade média (km/h)	28,36	34,94

Fonte: Autor

Tabela 11 - Resultados Quarto Dia Inserção do Ponto mais Distante

4° dia		
	Real	Ponto mais distante
Roteiro	0-53-54-55-56-57-58-59-60-61-62-63-64-65-0	0-60-61-59-62-58-57-56-55-54-63-64-65-53-0
Distância Percorrida (km)	82	47,5
Tempo de deslocamento (h)	3,23	1,33
Tempo de trabalho	4,35	2,45
Velocidade média (km/h)	22,18	35,71

Fonte: Autor

Tabela 12 - Resultado Quinto Dia Inserção do Ponto mais Distante

5° dia		
	Real	Ponto mais distante
Roteiro	0-66-67-68-69-70-71-72-73-74-75-76-77-78-79-80-81-82-83-84-0	0-74-73-70-69-77-76-78-81-82-67-79-80-66-75-68-83-84-72-71-0
Distância Percorrida (km)	120	69
Tempo de deslocamento (h)	3,63	1,7
Tempo de trabalho	6,01	4,18
Velocidade média (km/h)	31,5	40,59

Fonte: Autor

4. ANÁLISE DE DADOS

Após a aplicação dos métodos, foi realizada uma comparação entre os resultados obtidos para as duas diferentes metodologias em relação ao que já é praticado na empresa. As Tabelas 13 e 14 apresentam a comparação entre a heurística do vizinho mais próximo e a situação real da Agência dos Correios e a comparação entre a inserção do ponto mais distante e a situação real, respectivamente.

Tabela 13 - Ganhos da Heurística do Vizinho mais Próximo

Ganhos da Heurística do vizinho mais próximo								
	Síntese dos dias da semana					Ganho Médio	Ganho Total na semana	
	1	2	3	4	5		Diferença	%
	Diferença	Dif	Dif	Dif	Dif			
Redução da Distância Percorrida (km)	64,4	19,5	27,1	34,5	42,3	38,0%	187,8	39,2%
Redução do Tempo de Deslocamento (h)	2,12	0,79	1,54	1,9	1,65	47,6%	8	48,3%
Redução do Tempo Total (h)	2,12	0,79	1,54	1,9	1,55	32,1%	7,9	31,4%
Aumento da Velocidade Média (km/h)	2,13	7,23	7,52	13,53	7,74	30,7%	38,16	28,7%

Fonte: Autor

Tabela 14 - Ganhos da Inserção do Ponto mais Distante

Ganhos da Inserção do ponto mais distante								
	Síntese dos dias da semana					Ganho Médio	Ganho Total na semana	
	1	2	3	4	5		Diferença	%
	Diferença	Dif	Dif	Dif	Dif			
Redução da Distância Percorrida (km)	64,65	14,7	25,4	34,5	51	37,8%	190,25	39,7%
Redução do Tempo de Deslocamento (h)	2,39	1,03	1,45	1,9	1,93	51,7%	8,7	52,6%
Redução do Tempo de Trabalho (h)	2,38	1,03	1,45	1,9	1,83	34,5%	8,59	34,2%
Aumento da Velocidade Média (km/h)	7,76	13,97	6,58	13,53	9,09	41,1%	50,93	38,4%

Fonte: Autor

Analisando os dois quadros, é possível perceber que ambos os métodos proporcionam melhorias. Porém, o método da inserção do ponto mais distante sobressaiu-se com melhores resultados para a aplicação aos dados da empresa, relacionados tanto à distância percorrida quanto ao tempo gasto para realizar as entregas.

4.1 Custos Logísticos

Os custos logísticos foram calculados apenas para a situação real e para o roteiro com método de inserção do ponto mais distante, visto que foi o que apresentou um ganho maior. Esses custos representam os serviços realizados em um mês, visto que, segundo a Agência, todas as semanas possuem variações similares à semana analisada. Para o cálculo, os valores foram multiplicados por quatro, quantidade de semanas em um mês.

Tabela 15 - Informações Gerais do Roteiro Real

Roteiro Real	Valores
Valor do Veículo	R\$ 49.522,00
Distância percorrida por mês (km/mês)	1916
Média de distância percorrida por semana (km/semana)	479
Média distância percorrida por dia (km/dia)	95,8
Média de rendimento do veículo (km/L)	8
Tempo de deslocamento do veículo por mês (horas/mês)	66,12
Média de tempo de deslocamento do veículo por semana (hora/semana)	16,53
Média de tempo de deslocamento por dia (horas/dia)	3,306
Tempo de trabalho do motorista por mês (horas/mês)	100,56
Média de tempo de trabalho do motorista por semana	25,14
Média de tempo de trabalho do motorista por dia (horas/dia)	5,028

Fonte: Autor

Tabela 16 - Informações Gerais do Roteiro Ideal

Roteiro Ideal	Valores
Valor do Veículo	R\$ 49.522,00
Distância percorrida por mês (km/mês)	1155
Média de distância percorrida por semana (km/semana)	288,75
Média distância percorrida por dia (km/dia)	57,75
Média de rendimento do veículo (km/L)	8
Tempo de deslocamento do veículo por mês (horas/mês)	31,4
Média de tempo de deslocamento por semana (horas/semana)	7,85
Média de tempo de deslocamento por dia (horas/dia)	1,57
Tempo de trabalho do motorista por mês (horas/mês)	66,2
Média de tempo de trabalho do motorista por semana (horas/semana)	16,55
Média de tempo de trabalho do motorista por dia (horas/dia)	3,31

Fonte: Autor

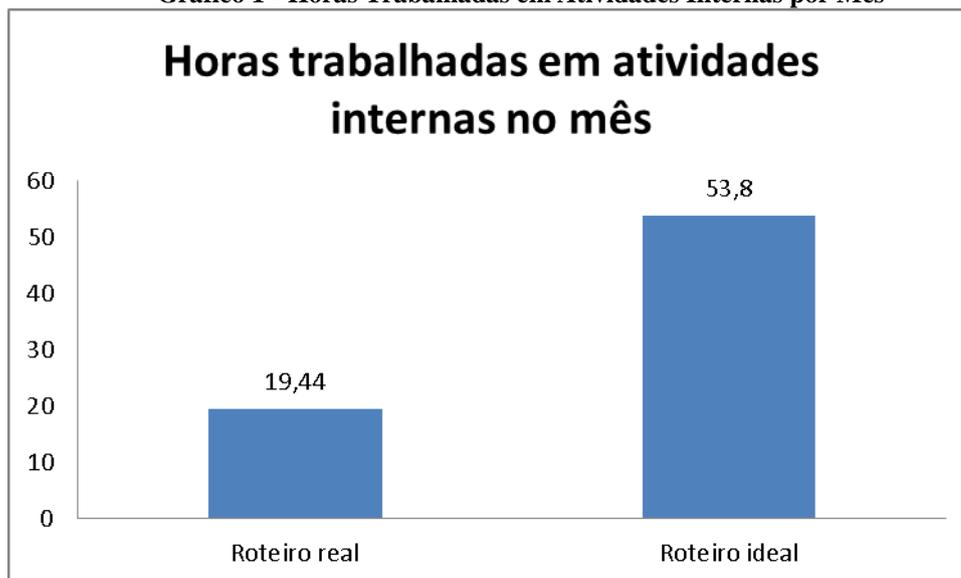
O valor de aquisição do veículo foi retirado do Catálogo Web Motors e foi aplicado para as duas situações. Como o veículo utilizado é o mesmo, sua média de rendimento também foi igual, 8 km/L.

Analisando as Tabelas 15 e 16, percebe-se que a distância percorrida por mês no roteiro real é de 1916 km, enquanto que no roteiro ideal é de 1155 km. Isso representa uma diminuição de 761 km por mês, 39,7%.

Outro aspecto que também teve redução foi o tempo de deslocamento do veículo por mês. No roteiro real, o entregador gastava 66,12 horas para fazer as entregas. No roteiro ideal, as entregas são feitas em 31,4 horas. Essa diminuição representa 52,5% de economia de tempo.

Como consequência da diminuição do tempo de deslocamento, o tempo de trabalho do motorista também reduziu. No roteiro real, o tempo de trabalho era de 100,56 horas. Isso indica que, em média, eram dedicadas 5,028 horas apenas para realizar a entrega das encomendas. O objetivo da empresa era que as entregas fossem feitas em cinco horas e que uma hora do tempo de trabalho do entregador fosse dedicado a atividades internas. Seguindo o roteiro ideal, as entregas poderiam ser feitas, em média, em 3,31 horas. Haveria uma redução de 34,16% no tempo de trabalho que poderiam ser dedicados às atividades internas.

Gráfico 1 - Horas Trabalhadas em Atividades Internas por Mês



O Gráfico 1 ilustra quantas horas em um mês seriam dedicadas às atividades internas de acordo com o roteiro ideal. Seguindo o roteiro ideal, o entregador teria um tempo 63,8% maior para se dedicar às atividades internas em um mês.

Para o cálculo dos custos logísticos, foram levados em consideração apenas os custos variáveis, pois os custos fixos são iguais em ambas às situações. Por custos variáveis entende-se o custo de manutenção anual e o custo do litro de gasolina comum.

O custo de manutenção anual foi calculado com base na distância percorrida por mês em quilômetros. O que a empresa faz é encaminhar o veículo para uma manutenção preventiva a cada quantidade de quilometragem estabelecida no manual do fabricante. Para o cálculo do custo de manutenção anual, foram considerados os valores das manutenções feitas na concessionária. Assim, a quilometragem atingida define a quantidade de manutenções necessárias e o que será realizado em cada uma delas.

O custo do litro de gasolina comum é calculado com base em uma média de valores dos postos de Brasília. Para o problema em estudo, chegou-se a uma média de R\$ 4,39. O custo relacionado com a gasolina utilizada é um custo variável por depender de quantos quilômetros o veículo fez e o rendimento de 8 quilômetros em média para consumir um litro de gasolina comum.

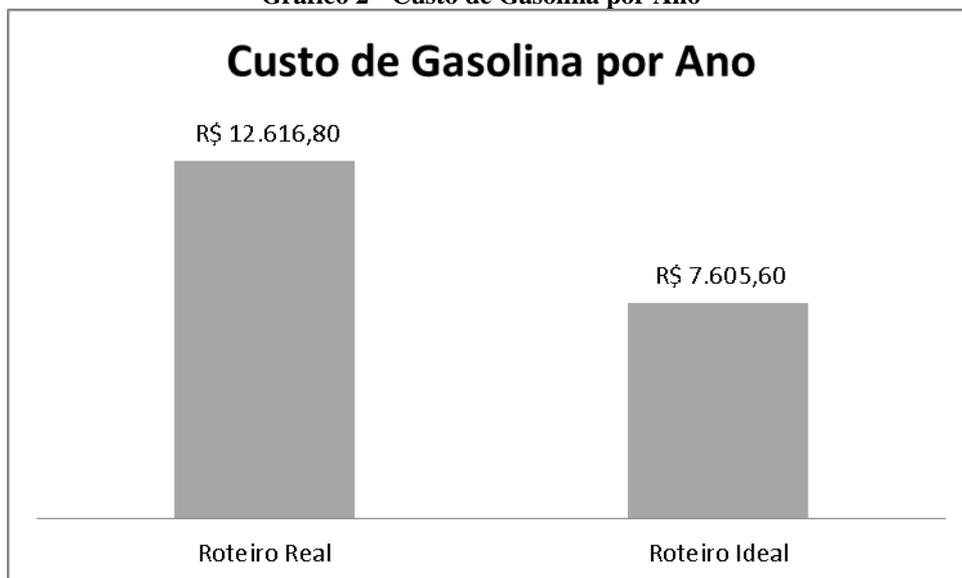
Tabela 17 - Custos Variáveis

	Roteiro Real	Roteiro Ideal
Custo de Manutenção (anual)	R\$ 1.531,22	R\$ 923,05
Custo de Gasolina (mensal)	R\$ 1.051,40	R\$ 633,80

Fonte: Autor

A Tabela 17 apresenta os custos variáveis gastos em cada roteiro. O roteiro ideal apresenta uma economia de R\$ 608,17 em relação ao custo de manutenção e de R\$ 417,60 em relação à gasolina. O Gráfico 2 apresenta o valor economizado de gasolina com o roteiro ideal.

Gráfico 2 - Custo de Gasolina por Ano



Fonte: Autor

Em termos de custos, a utilização do método da inserção do ponto mais distante reduziu em R\$ 5.011,20 os custos com gasolina e R\$ 608,17 os custos com manutenção. Além da redução de custos, houve uma redução no tempo das entregas. Esse fato agrega valor ao cliente, pois ele recebe sua encomenda mais rapidamente, e à empresa já que o responsável pelas entregas passa há ter mais tempo para se dedicar às atividades internas.

5. CONCLUSÃO

A execução do presente trabalho permitiu compreender a importância da roteirização para uma empresa de entrega de encomendas. Além disso, o estudo mostrou que os métodos escolhidos possuem aplicações acessíveis, fáceis e rápidas. Foi possível perceber que o método de inserção do ponto distante é de fato mais eficiente do que a heurística do vizinho mais próximo, conforme afirma Novaes (2007).

Por meio da análise dos dados, notou-se que o modelo atualmente utilizado pela empresa, por não seguir um método de roteirização com uma base em estudos mais aprofundados, acaba ocasionando desperdícios de tempo e distância e, conseqüentemente, aumentando os custos logísticos da empresa. Com isso, os resultados obtidos no desenvolvimento do presente trabalho apresentam uma otimização desse processo e fornecem motivos suficientes para que a empresa ao menos avalie possibilidades de implementação de alguma das metodologias em seu cotidiano.

A aplicação da inserção do ponto mais distante resultou em um ganho de 39,7% em relação à distância percorrida e de 34,2% em relação ao tempo de trabalho do entregador. O objetivo de reduzir as horas dedicadas às entregas e aumentar o tempo de trabalhos em atividades internas foi atingido. Recomenda-se a aplicação do método em um horizonte de tempo maior. A aplicação foi feita apenas em uma semana de entregas e os resultados foram replicados para as demais semanas do mês, visto que, segundo a Agência dos Correios, as semanas possuem variações similares.

A implementação de um método de roteirização para as demais semanas pode ocasionar em um aumento do nível de serviço, ganhos significativos em relação à distância percorrida e tempo de trabalho, além de uma redução de custos mais significativa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, C. S.; CHAVES, R. P.; PENTEADO, I. M.; COSTA, S. A., A importância da Logística para o E-commerce: O exemplo da amazon.com. Universidade de São Paulo, 2004. Disponível em: < <http://tecspace.com.br/paginas/aula/faccamp/TI/Texto07.pdf>> Acesso em: 02 de novembro de 2017, às 14h10.

BALLOU, R. H. Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos/ Logística Empresarial. Porto Alegre: Bookman, 2006. 5ª. Edição.

BRAGA, I. P. C.; TEIXEIRA, M. S.; DANTAS, H. F. B.; OLIVEIRA, M. S. B de, “Aplicação do problema do caixeiro viajante (PCV) em uma empresa do ramo salineiro do RN”. Fortaleza: Artigo publicado no XXXV Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENEGEP). Out/2015.

CABRAL, F. B., “Processo Logístico de uma empresa de Comércio Eletrônico: Estudo de Caso”. Rio de Janeiro: Artigo publicado no Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENEGEP). 2001.

CORREIOS. Disponível em: <www.correios.com.br> Acesso em: 21 de junho de 2017, às 10h53.

COVER, T.; HART, P. Nearest neighbor pattern classification. Stanford: IEEE, 1967.

CUNHA, C. B. “Aspectos práticos da aplicação de modelos de roteirização de veículos a problemas reais”. Revista Transportes, v.8, n.2, p. 51- 74, 2000.

FARIA, A. C. de; MULLER, E. T. C., “Os desafios e e-commerce e a importância da controladoria”. Fortaleza: Artigo publicado no XXVI Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENEGEP), Out/2006.

FONTES, F. F. D. C. Algoritmo Memético com Infecção Viral: uma aplicação ao Problema do Caixeiro Viajante Assimétrico. Rio Grande do Norte, 2006.

GONÇALVES, J. P., “Proposição de modelo de roteirização para distribuição de encomendas”. Brasília: Trabalho de conclusão de curso de Engenharia de Produção – Universidade de Brasília. 2016.

JÚNIOR, J. U. C., “Proposta de otimização da roteirização dos distritos dos carteiros: um estudo de caso no centro de entrega de encomendas em Fortaleza.” Trabalho de conclusão de mestrado em Logística e Pesquisa Operacional – Universidade Federal do Ceará, 2010.

LAUDON, K. C.; LAUDON, J. P. Sistemas de informação gerenciais: administrando a empresa digital. 5. ed. São Paulo: Prentice Hall, 2004.

LUNA, M. M. M.; BELLOMUSTO, M. P.; MONHO, M. C. B., “Problema de Roteirização em Empresa do Setor Alimentício: uma Aplicação do Método de Clarke e Wright”. Fortaleza: Artigo publicado no XXXV Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENEGEP). Out/2015.

MARINS, E. E., “Otimização dos custos logísticos de transporte na empresa OPTX estudo de caso”. Trabalho de conclusão de curso de Administração em Empresas – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2016.

MELO, A. C. S. Avaliação do Uso de Sistemas de Roteirização de Veículos. Dissertação de Master Of Science, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2000.

MOURA, B. C., Logística: Conceitos e Tendências, Lisboa: Centro Atlântico, 2006.

NOVAES, A. G. Logística e Gerenciamento da Cadeia de Distribuição. 2. Ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2004.

NOVAES, A. G., Logística e Gerenciamento da Cadeia de Distribuição, Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.

PARTYKA, J.G.; HALL, R.W. (2000). On the road to service. OR/MS Today, 2000.

PINHEIRO, P. A.; FILHO, J. G. F., Logística: Análise do Processo de Roteirização das Entregas de Cargas Fracionadas em uma Distribuidora Atacadista em Campina Grande – PB. Universidade Estadual da Paraíba, Trabalho de Conclusão de Curso. 2014.

REIS, C. C. C. dos; MORO, M. F.; FLORES, S. de A.; WEISE, A. D., "Técnicas de Pesquisa Operacional Aplicadas na Otimização de Rotas de uma Rede de Lojas de Materiais de Construção". João Pessoa: Artigo Publicado no XXXVI Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENEGEP). Out/2016.

SILVA. D.A.; MOREIRA. E.R. “O e-commerce como estratégia no processo de expansão dos negócios de pequenas empresas”. Revista de Administração da Fatea, v. 3, n. 3, p. 97-108, jan./ dez., 2010.

SOUZA, A. W de; AMARAL, D. B de M.; OI, R.; CARNEIRO, J. B.; SANTOS, R. M dos, “Aplicação da técnica de varredura no replanejamento da malha de transporte: um estudo de caso em uma empresa de transporte e distribuição de cargas fracionadas”. Curitiba: Artigo publicado no XXXIV Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENEGEP). Out/2014.

WANKE, P. Logística e Transporte de Cargas no Brasil: produtividade e eficiência no século XXI. Coleção Coppead de Administração. São Paulo: Atlas, 2010.

WEB MOTORS. Disponível em: < <https://catalogo.webmotors.com.br/renault/kangoo/2016>>
Acesso em: 28 de novembro de 2017, às 9h30.

APÊNDICE I

O apêndice I apresenta as tabelas com as informações de cada dia de entrega.

Segundo dia de entregas

Tabela 18 - Informações Segundo Dia de Entregas

2º dia de entrega					
Ordem	Endereço de entrega	Distância percorrida (km)	Tempo de deslocamento (h)	Tempo de parada (h)	Velocidade Real (km/h)
0	SHIS EQL 6/8				
19	SHIS QL 8	2	0,08	0,57	24,0
20	SHIS QL 22	10	0,2	0,15	50,00
21	SGAS 609	16	0,3	0,02	53,33
22	SES quadra 801	2	0,05	0,05	40,00
23	SCRS 505	3	0,25	0,08	12,00
24	SCS quadra 1	3	0,03	0,03	90,00
25	SRTVS 701	2	0,07	0,13	30,00
26	SRTVS 701	1	0,08	0,02	12,00
27	SQS 102	2	0,13	0,05	15,00
28	SIG	8	0,48	0,03	16,55
29	SHCS 102 bloco a	1	0,07	0,4	15,00
30	SES 801	2	0,1	0,15	30,00
31	SGAS 605	4	0,07	0,02	60,00
32	SHIS QI 9	6	0,23	0,22	25,71
33	SHIS QI 3	5	0,2	0,05	25,00
34	SHIS QI 3	1	0,07	0,3	15,00
35	SHIS QI 5	4	0,15	0,02	26,67
	SHIS EQL 6/8	3	0,18		16,36
	Somas	75	2,74	2,29	
	Totais		5,03		27,27

Terceiro dia de entregas

Tabela 19 - Informações Terceiro Dia de Entregas

3° dia de entrega					
Ordem	Endereço de entrega	Distância percorrida (km)	Tempo de deslocamento (h)	Tempo de parada (h)	Velocidade Real (km/h)
0	SHIS EQL 6/8				
36	SHIS QI 9	6	0,08	0,05	72,0
37	SHIS QL 8	2	0,1	0,03	20,00
38	SHIS QL 22	6	0,27	0,03	22,50
39	SES quadra 801	9	0,3	0,03	30,00
40	SES quadra 807	1	0,05	0,08	20,00
41	SGAS 609	2	0,08	0,03	24,00
42	CLS 406	1	0,07	0,02	15,00
43	CRS 505	2	0,12	0,03	17,14
44	SHS quadra 6	3	0,17	0,07	18,00
45	SHCS 712	3	0,13	0,03	22,50
46	SHCS 710/910	2	0,15	0,05	13,33
47	SGAS 607	6	0,28	0,07	21,18
48	SHIS QI 3	16	0,25	0,07	64,00
49	SHIS QL 8	5	0,12	0,12	42,86
50	SHIS QI 13	7	0,33	0,05	21,00
51	SHIS QL 12	3	0,08	0,08	36,00
52	SHIS QI 9	5	0,12	0,07	42,86
	SHIS EQL 6/8	3	0,37		8,18
	Somas	82	3,07	0,91	
	Totais		3,98		28,36

Quarto dia de entregas

Tabela 20 - Informações Quarto Dia de Entregas

4° dia de entrega					
Ordem	Endereço de entrega	Distância percorrida (km)	Tempo de deslocamento (h)	Tempo de parada (h)	Velocidade Real (km/h)
0	SHIS EQL 6/8				
53	SHIS QL 22	6	0,27	0,03	
54	SES quadra 801	32	0,75	0,13	20,00
55	CRS 505	3	0,17	0,07	22,50
56	CRS 513	4	0,25	0,02	30,00
57	CRS 514	2	0,12	0,2	20,00
58	CRS 515	3	0,12	0,12	24,00
59	SES quadra 809	5	0,17	0,07	15,00
60	SES quadra 811	0	0,02	0,1	17,14
61	SES quadra 807	2	0,05	0,05	18,00
62	SGAS 615	3	0,17	0,08	22,50
63	SES quadra 801	3	0,17	0,03	13,33
64	SES quadra 801	2	0,08	0,05	21,18
65	SHIS QL 12	8	0,42	0,17	64,00
	SHIS EQL 6/8	9	0,47		8,18
	Somas	82	3,23	1,12	
	Totais		4,35		22,18

Quinto dia de entregas

Tabela 21 - Informações Quinto Dia de Entregas

5° dia de entrega					
Ordem	Endereço de entrega	Distância percorrida (km)	Tempo de deslocamento (h)	Tempo de parada (h)	Velocidade Real (km/h)
0	SHIS EQL 6/8				
66	SHIS QI 17	6	0,18	0,17	32,73
67	SES quadra 801	16	0,4	0,07	40,00
68	SHIS QL 12	3	0,1	0,08	30,00
69	SHIS QI 3	6	0,2	0,12	30,00
70	SHIS QI 5	8	0,2	0,08	40,00
71	SHIS QI 7	3	0,13	0,1	22,50
72	SHIS QL 10	6	0,2	0,17	30,00
73	SHIS QL 6	5	0,17	0,08	30,00
74	SHIS QL 6	1	0,05	0,1	20,00
75	SHIS QI 17	5	0,13	0,08	38,46
76	SQS 310	10	0,33	0,08	30,00
77	SQS 316	5	0,17	0,08	30,00
78	SQS 205	6	0,2	0,08	30,00
79	SHIS QL 28	9	0,25	0,13	36,00
80	SHIS QI 27	3	0,12	0,12	25,71
81	SES quadra 801	8	0,2	0,3	40,00
82	SES quadra 801	1	0,05	0,33	20,00
83	SHIS QI 11	12	0,35	0,13	34,29
84	SHIS QI 9	3	0,08	0,08	36,00
	SHIS EQL 6/8	4	0,12		34,29
	Somas	120	3,63	2,38	
	Totais		6,01		31,50

APÊNDICE II

O apêndice II apresenta as figuras dos roteiros montados para os demais dias de acordo com a heurística do vizinho mais próximo.

Figura 10 - Roteiro 2 com Heurística do Vizinho mais Próximo



Figura 11 - Roteiro 2 com Heurística do Vizinho mais Próximo com melhorias

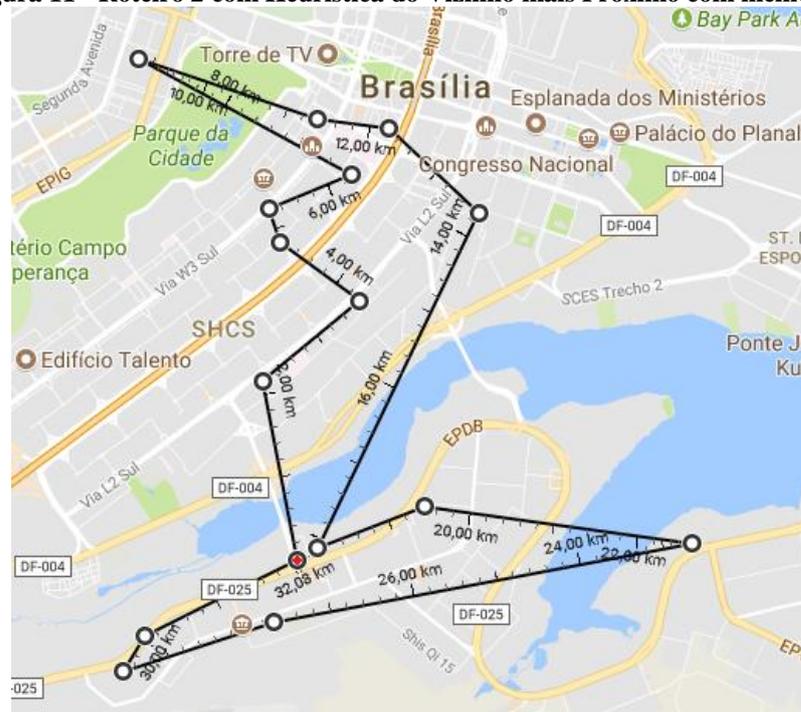


Figura 1112 - Roteiro 3 com Heurística do Vizinbo mais Próximo



Figura 12 - Roteiro 3 com Heurística do Vizinbo mais Próximo com melhorias



Figura 13 - Roteiro 5 com Heurística do Vizinho mais Próximo

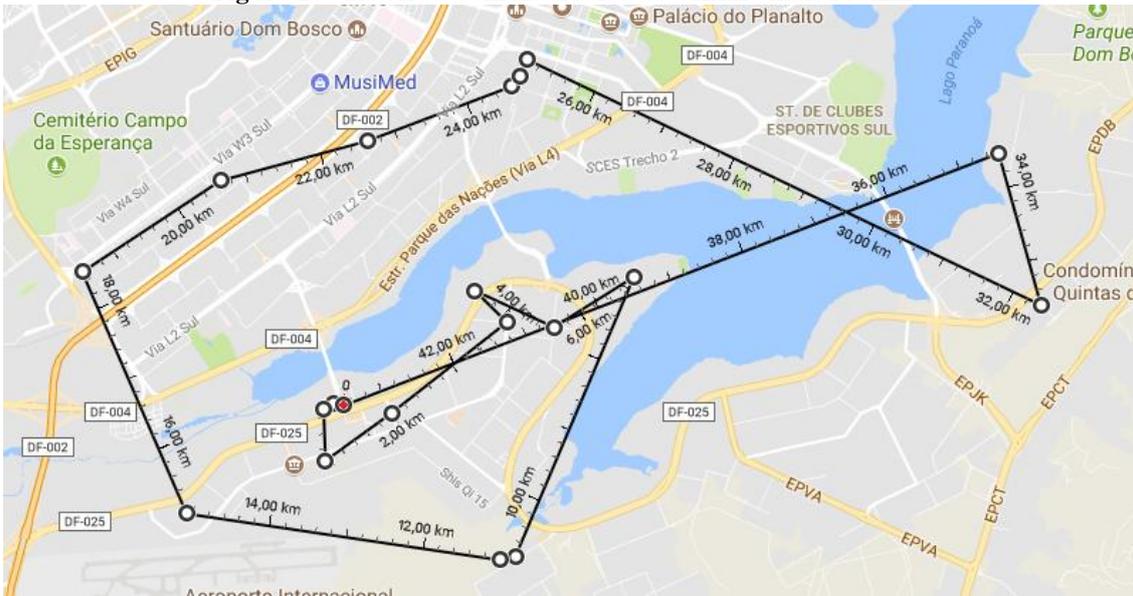
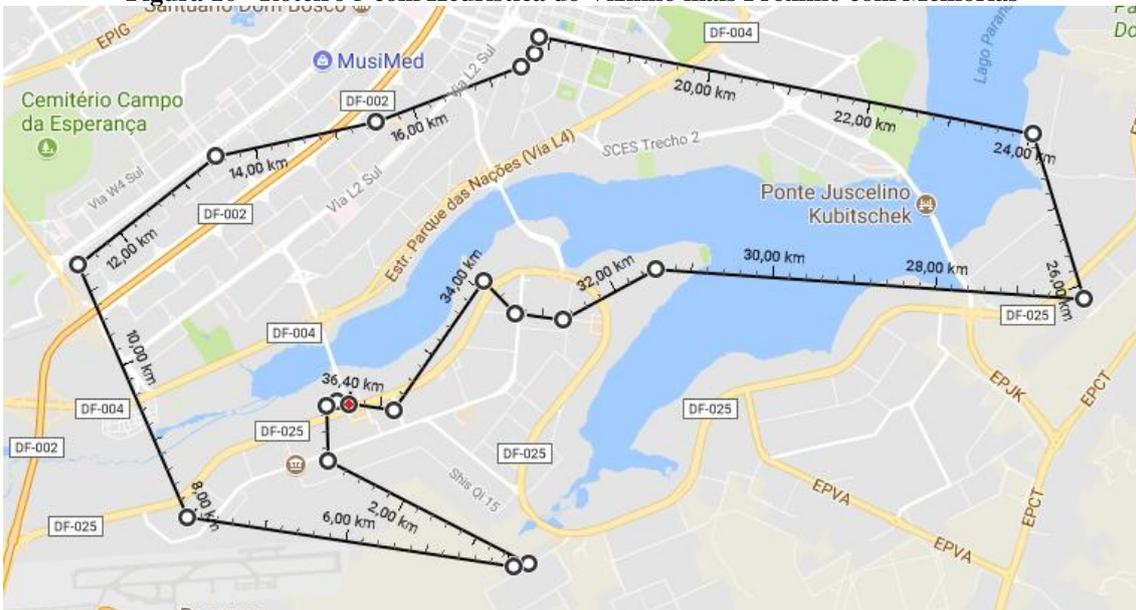


Figura 16 - Roteiro 5 com Heurística do Vizinho mais Próximo com Melhorias



APÊNDICE III

O apêndice III apresenta as figuras dos roteiros montados para os demais dias de acordo com a inserção do ponto mais distante.

Figura 17 - Roteiro 2 com Inserção do Ponto mais Distante

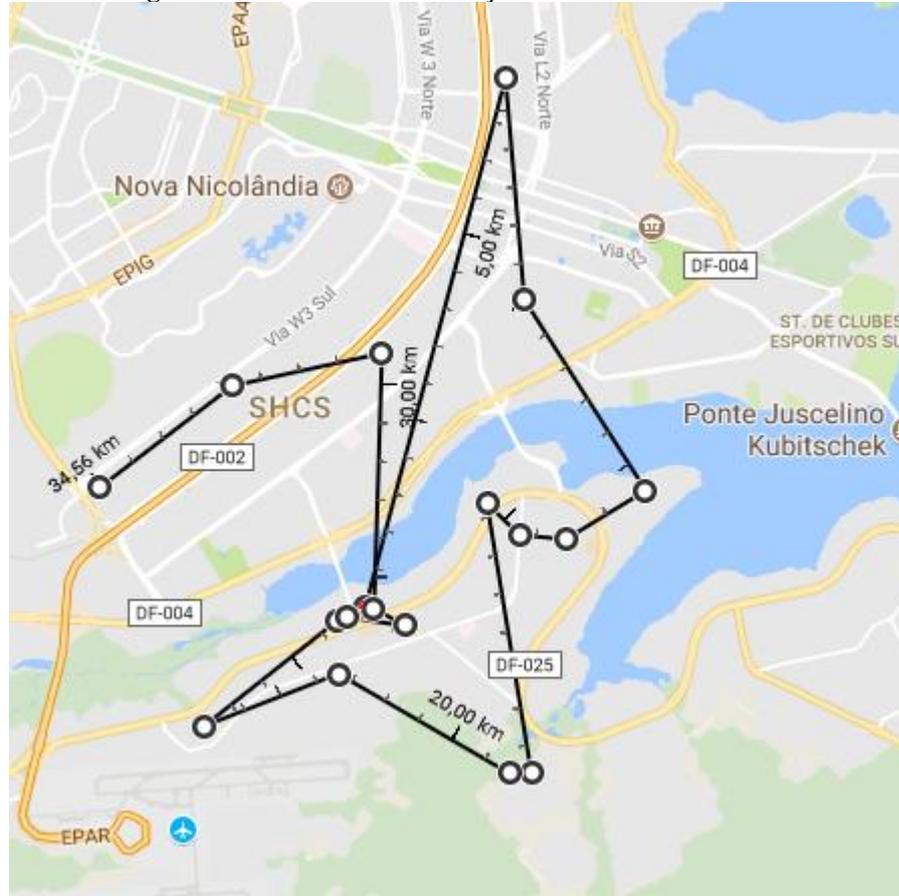


Figura 18 - Roteiro 2 com Inserção do Ponto mais Distante com Melhorias

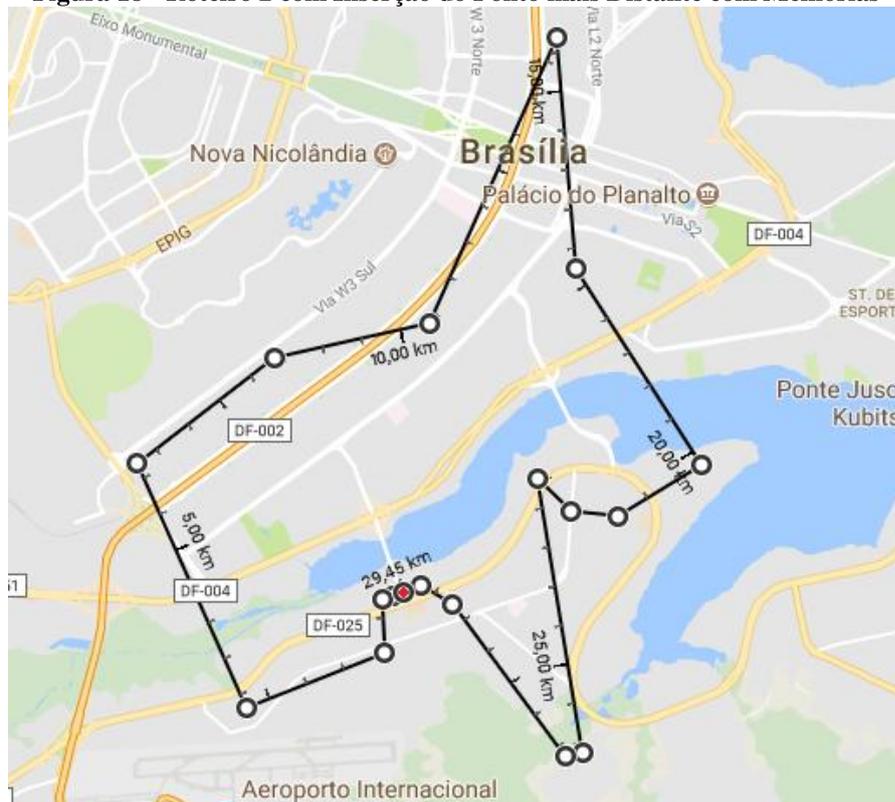


Figura 19 - Roteiro 3 com Inserção do Ponto mais Distante



Figura 20 - Roteiro 3 com Inserção do Ponto mais Distante com Melhorias

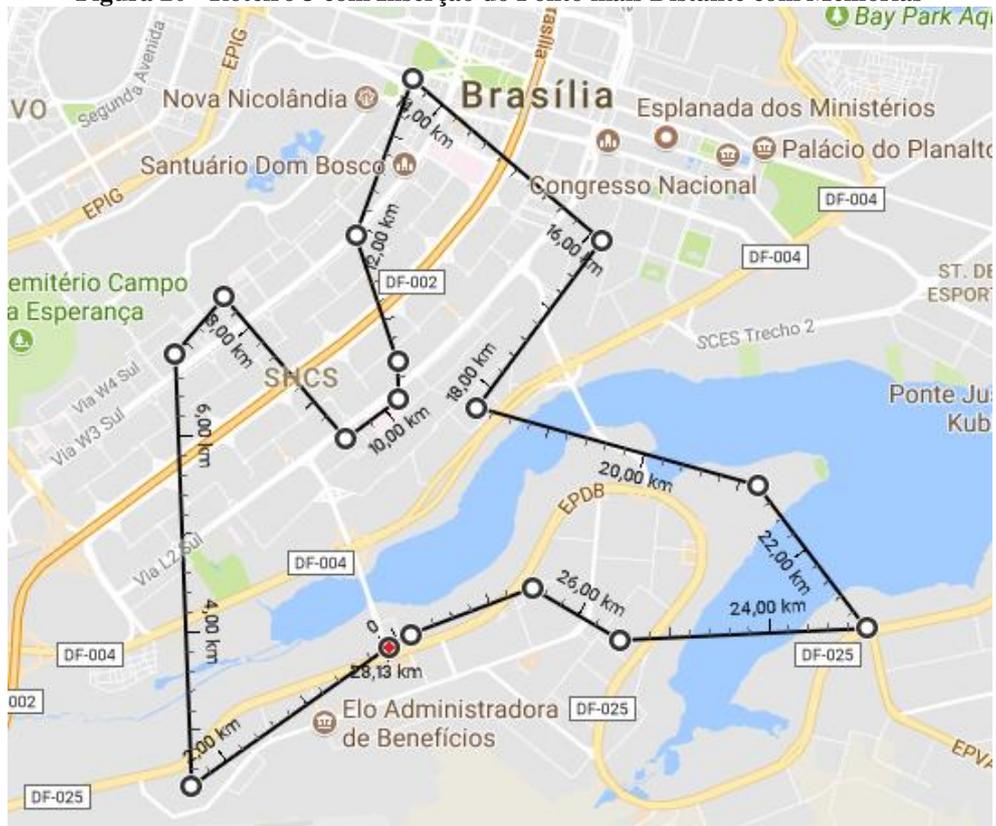


Figura 21 - Roteiro 4 com Inserção do Ponto mais Distante

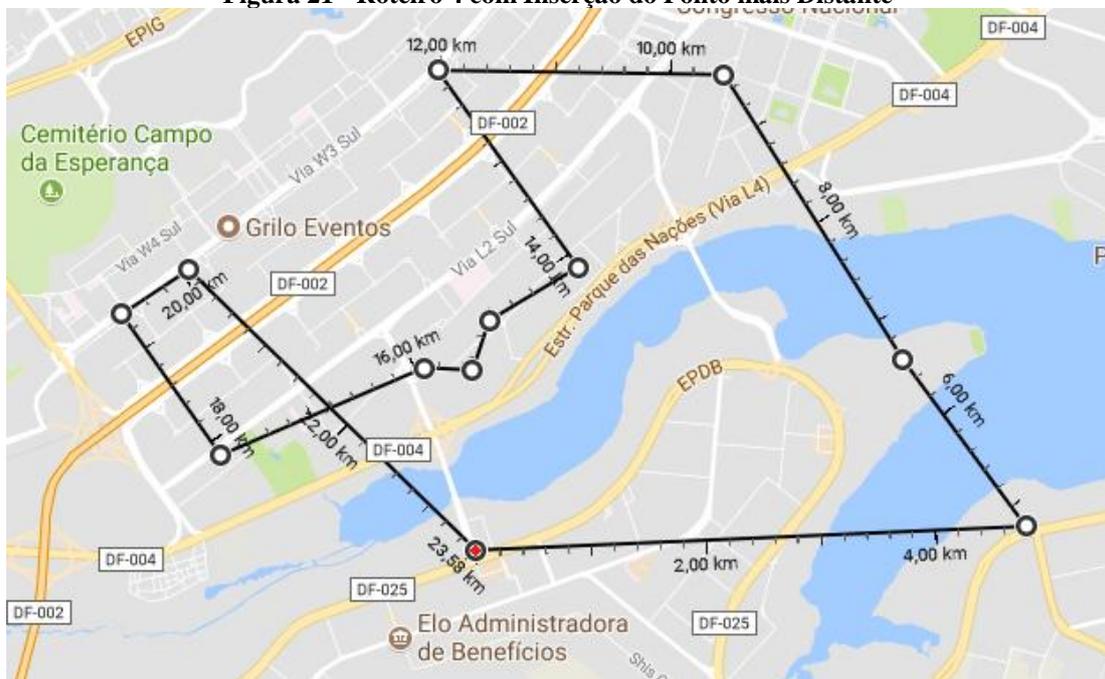


Figura 22 - Roteiro 4 com Inserção do Ponto mais Distante com Melhorias

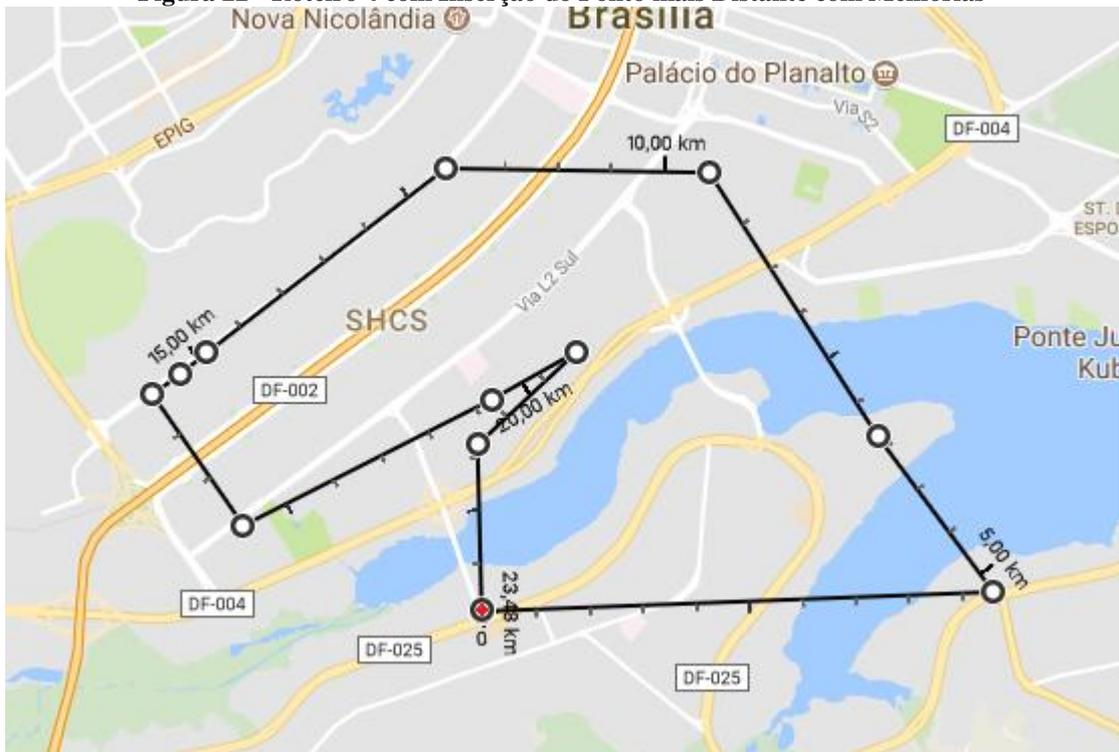


Figura 14 - Roteiro 5 com Inserção do Ponto mais Distante

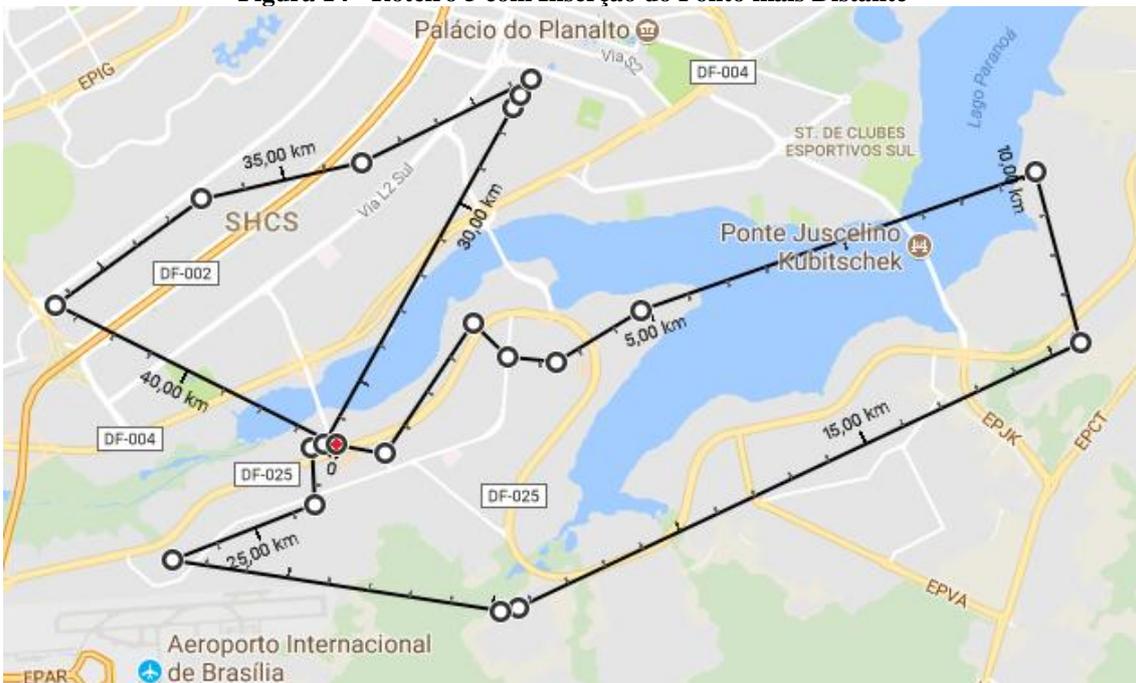


Figura 15 - Roteiro 5 com Inserção do Ponto mais Distante com Melhorias



ANEXO I

O anexo I apresenta as matrizes das distâncias para os demais dias de entregas.

Segundo dia de entregas

Tabela 22 - Matriz Distância Segundo Dia

Distâncias em km - dia 2																		
	0	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
0	-	1,9	7,8	2,9	6,5	6,5	9,7	7,4	7,4	6,9	12	5,9	6,5	4,5	3,9	2,8	3,3	2,4
19		-	7,4	3,6	7	7,2	10,2	8,1	8,1	7,6	12,5	6,6	7	5,1	2,9	3,5	4,1	2,7
20			-	13,4	11,2	13,5	14,5	12,6	12,6	12,3	16,8	13,3	11,2	11,8	8,4	9,7	9,7	7
21				-	4,2	4	7,1	4,8	4,8	4,4	10,5	3,4	4,2	1,9	6,2	5,4	6	6
22					-	4,3	5	4,8	4,8	3,3	7,3	4,8	0,2	3,8	4,8	8,9	9,5	9,4
23						-	2,8	1,8	1,8	1,6	6,3	0,3	4	2,7	6,9	8,3	11,3	8
24							-	2,1	2,1	1,5	5,3	3,2	2,7	4	6,2	12,5	12,5	8,9
25								-	0	2,1	3,6	2	3,1	4,1	6,6	13,1	13,1	9,7
26									-	2,1	3,6	2	3,1	4,1	6,6	13,1	13,1	9,7
27										-	5	2,8	3	3	5,9	9,3	12,1	8,5
28											-	4,2	6	7	9,5	16	15,9	12,5
29												-	4	2,4	6,7	8	11,1	7,3
30													-	3,8	4,8	8,9	9,5	8,1
31														-	4,7	7,2	7,8	6,4
32															-	5,8	6,4	3,3
33																-	0,9	1
34																	-	1,2
35																		-

Terceiro dia de entregas

Tabela 23 - Matriz Distância Terceiro Dia

Distâncias em km - dia 3																		
	0	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52
0	-	3,3	1,8	7,8	6,5	6,8	2,9	4	6,5	10,3	5,7	5	3,6	3,3	1,8	3,8	5,9	3,3
36		-	2,5	7,4	4,9	4,2	5,4	5,4	7,3	8,5	8,5	6,1	6,5	5,1	2,5	1,7	2,9	0,1
37			-	6,9	6,8	4,1	3,2	4,2	6,7	10,2	5,9	7,1	3,8	3,7	0,2	2,9	5,1	2,4
38				-	11,2	10,4	12,9	11,7	13,5	15,4	14,8	14,2	12,7	9,7	7,2	6,1	7,7	7
39					-	2,8	4,4	3,6	4,3	5,3	6,7	5,4	4,1	9,5	6,9	6,8	6,1	5,1
40						-	1,9	1,1	3,6	6,7	4,2	5	1,5	6,9	4,9	6	5,3	4,3
41							-	1,5	4	6,4	3,2	4	1	6	3,6	6,1	7,2	5,6
42								-	2,5	5	3,2	3,9	0,7	6,8	4,3	6,8	6,9	7,2
43									-	3,3	2,8	2,8	2,9	8,9	6,5	8,9	8,2	7,2
44										-	4,4	4,1	4,9	12,3	8,5	9,3	8,6	7,6
45											-	1,4	3	8,2	5,5	8,2	9,7	7,7
46												-	4,2	9,4	6,9	9,4	9,6	8,6
47													-	6,7	4,2	6,8	7	5,8
48														-	3,4	4,8	8,1	5,1
49															-	3,9	6	3,4
50																-	3,2	1,4
51																	-	2,8
52																		-

Quarto dia de entregas

Tabela 24 - Matriz Distância Quarto Dia

Distâncias em km - dia 4														
	0	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65
0	-	9,8	6,5	6,4	6,8	7	7,9	2,9	3,1	4,1	5,2	6,5	6,5	4,4
53		-	11,2	13,5	17,8	17,4	17,2	11,7	12,1	10,4	12,3	11,2	11,2	7,3
54			-	4,3	8,3	8	9,8	3,5	4	2,8	7,6	1	1	5,4
55				-	4,2	4,8	5	4	4,4	3,4	7	3,4	3,4	7,5
56					-	1	1	4,8	4,4	4,9	4,2	7,1	7,1	10,1
57						-	1	5,1	4,8	5,2	4,2	7,2	7,2	10,4
58							-	4,8	4,4	5,4	3,4	7,7	7,7	10
59								-	1	1	4,5	3,9	3,9	5,7
60									-	1,4	4,1	4,3	4,3	6,2
61										-	5,1	2,8	2,8	4,6
62											-	6,2	6,2	8,5
63												-	1	5,4
64													-	4,5
65														-

Quinto dia de entregas

Tabela 25 - Matriz Distância Quinto Dia

Distâncias em km - dia 5																				
	0	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84
0	-	5,2	6,5	5,4	3,3	2,1	2,2	3,5	1,4	0,9	5,8	5,1	6,5	4,9	16,6	14,5	6,5	6,6	4,5	3,3
66		-	8,9	4,8	7	6,4	4,1	6,8	7,1	5,7	1,3	11,8	14,6	9,8	13,3	9,5	8,9	9	5	4,7
67			-	5,6	9,5	8,1	7,5	5,5	7,4	6,8	9,9	6,1	8,2	3,6	14,5	10,6	0,2	0,1	4,6	6,1
68				-	7,5	6,1	4,2	2,7	5,5	4,9	6,2	7,7	10,5	5,7	16,7	12,9	4,8	4,8	2,3	2,3
69					-	1,9	3,4	5,6	2	3,1	7	9,5	7,5	8,3	18,1	14,2	9,9	9,9	6,2	4,6
70						-	1,7	3,9	1,7	2	5,3	6,6	8	6,5	17,1	13,2	8,1	8,4	4,4	3,7
71							-	2,4	2,7	2,1	4,2	6,3	7,7	6,2	15	11,1	6,9	6,9	2,9	1,9
72								-	3	2,5	6,1	6,7	8,1	6,6	17,7	13,8	5,8	5,8	2,3	1,1
73									-	1,5	6,4	6,8	8,1	6,7	17,5	13,6	8,3	8,3	5,1	3,9
74										-	5,8	6,2	7,6	6	18,1	14,2	7,7	7,7	4,4	3,3
75											-	12,5	15,3	10,5	14	10,1	9,6	9,6	5,7	5,3
76												-	3,3	3,2	19,3	15,4	5,8	5,9	7,9	7,3
77													-	5,4	21,4	17,5	8	8	9,6	8,4
78														-	16,9	13	3,2	3,2	5,2	5,6
79															-	4,9	13,6	13,6	15,3	14,9
80																-	11,5	11,5	13,2	12,8
81																	-	0	4,6	5,1
82																		-	4,6	5,1
83																			-	1,3
84																				-