

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
COORDENAÇÃO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

RAFAEL SIQUEIRA

**COMPARAÇÃO DE METODOS HEURISTICOS PARA OTIMIZAÇÃO
DE ROTAS DE DISTRIBUIÇÃO NO MUNICIPIO DE CASCAVEL-PR**
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Medianeira

2017

RAFAEL SIQUEIRA

**COMPARAÇÃO DE METODOS HEURISTICOS PARA OTIMIZAÇÃO
DE ROTAS DE DISTRIBUIÇÃO NO MUNICIPIO DE CASCAVEL-PR**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentada
como requisito parcial a obtenção do título de
Bacharel em Engenharia de Produção, da
Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Me. Cidmar Ortiz dos Santos
Co-Orientador: Prof. Dr. Levi Lopes Teixeira

Medianeira

2017



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO
PARANÁ**
CAMPUS MEDIANEIRA

Diretoria de Graduação
Nome da Coordenação de Engenharia de Produção
Curso de Graduação em Engenharia de Produção



TERMO DE APROVAÇÃO

COMPARAÇÃO DE MÉTODOS HEURÍSTICOS PARA OTIMIZAÇÃO DE ROTAS DE DISTRIBUIÇÃO NO MUNICÍPIO DE CASCAVEL-PR

Por

RAFAEL SIQUEIRA

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado às 08:20h do dia 24 de novembro de 2017 como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Medianeira. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Me. Cidmar Ortiz dos Santos
Universidade Tecnológica Federal do
Paraná

Prof. Dr. Levi Lopes Teixeira
Universidade Tecnológica Federal do
Paraná

Prof. Dr. André Sandmann
Universidade Tecnológica Federal do
Paraná

Prof. Me. Liliane C. R. de Andrade
Universidade Tecnológica Federal do
Paraná

Em memória de Mirian Luzia de Souza,
a quem eu tenho certeza que de algum
lugar está guiando meus passos...

AGRADECIMENTOS

Antes de mais nada gostaria de agradecer a minha família, pessoas a quem eu amo demais e sem dúvidas nenhuma foram essenciais para chegar onde cheguei.

Ao Professor Orientador Cidmar pela viabilização deste trabalho desde a fase de concepção da ideia até a conclusão e pela constante preocupação e zelo pelo bom andamento do trabalho.

Ao Professor Co-Orientador Levi pelo fornecimento de todo aporte necessário e conhecimento, fundamentais para a realização do trabalho.

Aos Professores membros da banca, pelas inúmeras sugestões apresentadas, sendo estes fundamentais para a lapidação e conclusão do trabalho.

A todos meus amigos e colegas, que de alguma forma ou outra foram essências durante toda a minha caminhada.

A empresa, por terem aberto as portas e viabilizado a execução deste trabalho.

A todos que de alguma forma contribuíram não só para realização deste trabalho, mas também durante toda a minha jornada.

RESUMO

SIQUEIRA, Rafael. **Comparação de Métodos Heurísticos para Otimização de Rotas de Distribuição no Município de Cascavel-PR**. 2017. Monografia (Bacharel em Engenharia de Produção), Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

A logística atualmente desempenha um papel fundamental na formação do preço final dos produtos, sendo um fator-chave para a lucratividade das empresas. Diante disto, o tema roteirização vem sendo bastante focado pelas organizações. Este trabalho apresenta uma modelagem para o problema de roteamento de veículos focando a otimização de rotas de uma empresa do oeste do Paraná. Esta pesquisa consistirá na análise da abordagem logística utilizada atualmente pela empresa, coletando dados a partir dos relatórios de entrega expedido semanalmente. Para obter as rotas subdividiu-se o trabalho em duas etapas: formação de uma solução inicial por meio do algoritmo de inserção do vizinho mais próximo e o refinamento desta solução utilizando o algoritmo 2-Opt em paralelo com o método do Subcircuito Inverso. A utilização combinada desses algoritmos permitirá a obtenção de uma solução satisfatória à cerca do problema de rotas.

Palavras-chave: Heurísticas; Problema de roteamento de veículos; Distribuição física.

ABSTRACT

SIQUEIRA, Rafael. **Comparison of Heuristic Methods for Optimization of Distribution Routes in the Municipality of Cascavel - PR.** 2017. Monograph (Bachelor in Production Engineering) - Federal Technologic University of Parana.

Logistics currently plays a key role in the formation of final product prices, being an important factor for the profitability of companies. Given this, the theme of routing has been much sought after by organizations. This work presents a modeling for the vehicle routing problem focusing on the optimization of routes of a company from the west of Paraná. This research will consist of analyzing the logistic approach currently used by the company, collecting data from weekly delivery reports. To obtain the routes, the work was subdivided into two steps: formation of an initial solution through the nearest neighbor insertion algorithm and refinement of this solution using the 2-Opt algorithm in parallel with the Inverse Subcircuit method. The combined use of these algorithms will allow to obtain a satisfactory solution to the problem of routes.

Key-words: Heuristics; Vehicle routing problem; Physical distribution.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Ilustração de um conjunto de rotas característico do PRVC	8.
Figura 2 – Ciclo Hamiltoniano	9.
Figura 3 – Possível Solução para o jogo de Hamilton	10.
Figura 4 – Solução inicial obtida com o método do vizinho mais próximo.....	14.
Figura 5 – Rearranjo de arestas para o método 2-Opt	16.
Figura 6 – Localização dos pontos.....	21.
Figura 7 – Rota percorrida pela empresa para a entrega de 2 de agosto	22.
Figura 8 – Rota gerada pelo método do Subcircuito inverso para a rota de 2 de agosto	23.
Figura 9 – Rota gerada pelo método 2-Opt para a rota de 2 de agosto	24.
Figura 10 – Rota percorrida pela empresa para a entrega de 9 de agosto	25.
Figura 11 – Rota gerada pelo método do Subcircuito inverso para a rota de 9 de agosto	26.
Figura 12 – Rota gerada pelo método 2-Opt para a rota de 9 de agosto	27.
Figura 13 – Rota percorrida pela empresa para a entrega de 16 de agosto	28.
Figura 14 – Rota gerada pelo método do Subcircuito inverso para a rota de 16 de agosto	29.
Figura 15 – Rota gerada pelo método 2-Opt para a rota de 16 de agosto	30.
Figura 16 – Rota percorrida pela empresa para a entrega de 23 de agosto	31.
Figura 17 – Rota gerada pelo método do Subcircuito inverso para a rota de 23 de agosto	32.
Figura 18 – Rota gerada pelo método 2-Opt para a rota de 23 de agosto	33.
Figura 19 – Rota percorrida pela empresa para a entrega de 30 de agosto	34.
Figura 20 – Rota gerada pelo método do Subcircuito inverso para a rota de 30 de agosto	35.
Figura 21 – Rota gerada pelo método 2-Opt para a rota de 30 de agosto	36.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Exemplo de matriz distância entre cinco pontos.	20.
Tabela 2 – Disposição da rota de 2 de agosto empregado pela empresa.	22.
Tabela 3 – Disposição da rota de 2 de agosto gerado a partir do método do Subcircuito inverso.	23.
Tabela 4 – Disposição da rota de 2 de agosto gerado a partir do método 2-Opt.	24.
Tabela 5 – Comparativos entre os métodos heurísticos para o percurso de 2 de agosto.	25.
Tabela 6 – Disposição da rota de 9 de agosto empregado pela empresa.	25.
Tabela 7 – Disposição da rota de 9 de agosto gerado a partir do método do Subcircuito inverso.	26.
Tabela 8 – Disposição da rota de 9 de agosto gerado a partir do método 2-Opt.	27.
Tabela 9 – Comparativos entre os métodos heurísticos para o percurso de 9 de agosto.	28.
Tabela 10 – Disposição da rota de 16 de agosto empregado pela empresa.	28.
Tabela 11 – Disposição da rota de 16 de agosto gerado a partir do método do Subcircuito inverso.	29.
Tabela 12 – Disposição da rota de 16 de agosto gerado a partir do método 2-Opt.	30.
Tabela 13 – Comparativos entre os métodos heurísticos para o percurso de 16 de agosto.	31.
Tabela 14 – Disposição da rota de 23 de agosto empregado pela empresa.	31.
Tabela 15 – Disposição da rota de 23 de agosto gerado a partir do método do Subcircuito inverso.	32.
Tabela 16 – Disposição da rota de 23 de agosto gerado a partir do método 2-Opt.	33.
Tabela 17 – Comparativos entre os métodos heurísticos para o percurso de 23 de agosto.	34.
Tabela 18 – Disposição da rota de 30 de agosto empregado pela empresa.	34.
Tabela 19 – Disposição da rota de 30 de agosto gerado a partir do método do Subcircuito inverso.	35.
Tabela 20 – Disposição da rota de 30 de agosto gerado a partir do método 2-Opt.	36.
Tabela 21 – Comparativos entre os métodos heurísticos para o percurso de 30 de agosto.	37.

LISTA DE SIGLAS

PRV	Problema de Roteamento de Veículos
PRVC	Problema de Roteamento de Veículos Capacitados
PCV	Problema do Caixeiro Viajante
VMP	Vizinho mais Próximo

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	2
1.1 OBJETIVOS	3
1.1.1 Objetivos Gerais	3
1.1.2 Objetivos Específicos.....	3
1.2 JUSTIFICATIVA.....	3
2 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA	4
3 REVISÃO DE LITERATURA	5
3.1 O PROBLEMA DE ROTEAMENTO DE VEICULOS (PRV).....	5
3.1.1 Problema de Roteamento de Veículos Capacitados (PRVC)	7
3.2 O PROBLEMA DO CAIXEIRO VIAJANTE (PCV)	9
3.3 HEURÍSTICAS.....	11
3.3.1 Heurísticas Construtivas	12
3.3.1.1 Heurística do vizinho mais próximo	13
3.3.2 Heurísticas de Refinamento.....	14
3.3.2.1 Heurística do Subcircuito Inverso	15
3.3.2.2 Algoritmo 2-OPT	15
4 MATERIAIS E MÉTODOS	17
4.1 TIPO DE PESQUISA	17
4.2 COLETA DE DADOS	19
4.3 RESOLUÇÃO DO PROBLEMA.....	20
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	21
5.1 IDENTIFICAÇÃO E LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS.....	21
5.2 OBTENÇÃO E ANÁLISES DAS ROTAS.....	21
6 CONCLUSÕES	38
7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	39
REFERÊNCIAS.....	40

1 INTRODUÇÃO

Devido ao cenário cada vez mais competitivo as empresas buscam incessantemente a otimização de seus processos. O principal desafio das organizações está concentrado basicamente na redução dos custos operacionais. As atividades de transporte desempenham um papel fundamental nos custos de produção e conseqüentemente causam um impacto direto na formação no preço dos produtos acabados.

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 (BALLOU, 2006).

O processo de distribuição também deve ser tratado e incluído no processo de otimização de recursos junto ao processo produtivo. Essa otimização de distribuição nos proporcionara entregas mais rápidas através de rotas mais curtas e com um baixo custo.

Chopra e Meindl (2011) afirmam que empresas como Walmart e a Seven-Elven Japan alcançaram sucesso no mercado devido a um excelente projeto e operação de distribuição de seus produtos, sendo assim foi possível oferecer aos seus clientes produtos a um custo muito baixo, isso se deve particularmente aos altos níveis de disponibilidade resultantes de um ótimo planejamento de transporte.

Segundo Bertaglia (2009), o Brasil tem evoluído no que se trata de processos de distribuição, porem o grande problema está na concentração na infraestrutura do transporte rodoviário, que por conta dessa sobre carga apresenta pontos críticos, o que acarreta na elevação dos custos de transporte.

Apesar de todas as dificuldades e barreiras para as organizações, este controle logístico ganha cada vez mais atenção na mesma proporção que os custos de transporte se tornam um ônus cada vez mais considerável. Bertaglia (2009) complementa afirmando que o processo de distribuição tem sido o foco principal das organizações visto que possuem custos elevados e as oportunidades são imensas.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivos Gerais

Abrir novos horizontes para a empresa acerca dos métodos heurísticos, mostrando que sua correta exploração pode trazer inúmeras vantagens competitivas. Destacando-se principalmente a redução dos custos através da otimização de suas rotas.

1.1.2 Objetivos Específicos

- a) Mapear e identificar todos os pontos de paradas;
- b) Construir uma matriz distância para cada entrega
- c) Comparar os resultados obtidos com a rota empregada pela empresa
- d) Projetar redução dos custos de transporte;

1.2 JUSTIFICATIVA

Dentre as justificativas deste trabalho podemos destacar a sua relevância acadêmica e o ganho de conhecimento gerado através da pesquisa e leitura de materiais encontrados na literatura.

Inúmeros autores afirmam que os custos gerados pela logística de distribuição são umas das principais preocupações do setor de transporte. Esses custos geralmente variam entre 30% e 60% de todos os custos logísticos, sendo um fator crucial para a lucratividade da empresa, chegando inclusive a influenciar nos custos de produção e encarecendo o produto final.

A otimização das rotas de distribuição gera inúmeros benefícios econômicos, dentre eles podemos destacar a estabilização e redução dos preços para os consumidores, a estabilização da oferta frente a variação da demanda e conseqüentemente gerando um grande aumento de competitividade.

2 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

A Empresa estudada em questão está situada no oeste do Paraná e realiza a distribuição de seus produtos em várias cidades do país, em especial na região sul, ela chega a atender grandes centros urbanos como São Paulo e Curitiba.

A empresa atende especialmente de pequenos açougues a grandes mercados, sendo esse seu principal alvo caracterizando grandes demandas devido ao porte dos mesmos.

Portanto o principal alvo de estudo será a região de Cascavel-PR, que caracteriza em média, cerca de 30 pontos de entregas. Estas entregas são realizadas semanalmente e atendidas por apenas um veículo.

Este veículo é do tipo caminhão baú, ele necessariamente precisa ser do tipo refrigerado devido a condição dos produtos a serem entregues. O tipo de veículo utilizado varia de acordo com a demanda e da quantidade de pontos de paradas.

Atualmente a empresa não possui e nem utiliza se de nenhum método matemático para a realização da roteirização destas entregas, as rotas ficam sob responsabilidades dos vendedores e são feitas de modo intuitivo.

O município de Cascavel-PR vem sendo encarado pela empresa como uma cidade com inúmeros problemas de rotas, e vem constantemente sendo alvo de reclamações dos motoristas devido à má alocação das cargas e definição de roteamento inadequado.

Propõe-se por intermédio desse trabalho a utilização de métodos heurísticos e de modelagem matemática para otimização de rotas de distribuição de cargas realizado pela empresa no município de Cascavel-PR. Acarretando conseqüentemente a redução dos custos por quilometro rodado e redução do tempo gasto para a entrega das mercadorias.

3 REVISÃO DE LITERATURA

A pesquisa bibliográfica é desenvolvida a partir de material já elaborado, constituído principalmente de livros e artigos científicos. Embora em quase todos os estudos seja exigido algum tipo de trabalho desta natureza, há pesquisas desenvolvidas exclusivamente a partir de fontes bibliográficas (GIL, 2010).

Pesquisa é um conjunto de ações, propostas para encontrar a solução para um problema, que tem por base procedimentos racionais e sistemáticos. A pesquisa é realizada quando se tem um problema e não se tem informações para solucioná-la (SILVA; MENEZES, 2001).

A pesquisa bibliográfica, ou de fontes secundárias, abrange toda bibliografia já tornada pública em relação ao tema de estudo, desde publicações avulsas, boletins, jornais, revistas, livros, pesquisas, monografias, teses, material cartográfico e etc. (MARCONI; LAKATOS, 2013).

A principal vantagem da pesquisa bibliográfica reside no fato de permitir ao investigador a cobertura de uma gama de fenômenos muito mais ampla do que aquela que poderia pesquisar diretamente (GIL, 2010).

A citação das principais conclusões a que outros autores chegaram permite salientar a contribuição da pesquisa realizada, demonstrar contradições ou reafirmar comportamentos e atitudes. Tanto a confirmação, em dada comunidade, de resultados obtidos em outra sociedade quanto as enumerações das discrepâncias são de grande importância (MARCONI; LAKATOS, 2003).

O fim principal da bibliografia é pôr-nos em contato com tudo o que se tem feito em torno do assunto de que vamos tratar. Se omitirmos o devido esforço nessa pesquisa, pode ruir por terra todo o nosso trabalho (SALOMON, 2004).

3.1 O PROBLEMA DE ROTEAMENTO DE VEICULOS (PRV)

O Problema de Roteamento de Veículos (PRV) teve sua origem associada ao trabalho desenvolvido por Dantzig & Ramser (1959). Desde então, tem sido, particularmente nas últimas décadas, um dos problemas mais abordados nas

áreas de Otimização combinatória e pesquisa Operacional (LOPES; RODRIGUES; STEINER, 2013).

Os Problemas de Roteamento de Veículos abordam basicamente a determinação de sequências de visitas que objetivem atender a uma determinada função objetivo (GOLDBARG; LUNA, 2005).

O primeiro tipo de problema de roteirização a ser estudado foi o caixeiro viajante (*traveling salesman problem*). A ideia é encontrar o menor caminho possível que um vendedor deve percorrer, a partir de sua cidade, afim de atender um conjunto de clientes (cidades), visitando cada um deles exatamente uma única vez (WU, 2007).

Segundo Goldbarg e Luna (2005), O sistema de roteamento tem como principal objetivo organizar meios para atender as demandas que estão localizadas tanto nos arcos como nos vértices de um grafo ou rede de transporte. Em outras palavras “A rede de estradas utilizadas para um sistema de transportes pode ser descrita através de um grafo, na qual arcos representam partes da estrada e os vértices representam os cruzamentos, depósitos e localizações dos clientes” (ALVES, 2015).

O Problema de Roteamento de Veículos é um dos mais importantes e mais amplamente estudados no contexto da otimização combinatória, por englobar grande parte dos problemas reais de logística de transporte (LOPES; RODRIGUES; STEINER, 2013).

Conforme Manguino (2013), O PRV busca um conjunto de rotas, partindo exclusivamente de um ponto central, com o intuito principal de alcançar os destinos ao menor custo, suprindo todas as demandas. As principais restrições para o PRV são, a capacidade dos veículos, a determinação de um ponto inicial que necessariamente deve ser também o ponto final e que todas as demandas devem ser atendidas.

Elaborar boas soluções para o problema da roteirização e programação de veículos torna-se cada vez mais difícil a medida que novas restrições são impostas (BALLOU, 2006).

Para Ballou (2006), o PRV é visto como uma forma geral do Problema do Caixeiro Viajante (PCV), onde tem se uma certa quantidade de veículos para atender um determinado número de cidades, considerando a duração máxima da

viagem e a capacidade de cada veículo em transportar cargas para as cidades determinadas.

Segundo Alves (2015) o PRV pode ser aplicado nas mais diversas situações do cotidiano que estão diretamente relacionadas a transportes, como por exemplo sistemas de coleta de lixo, sequenciamento para limpeza de ruas, planejamento de transporte escolar, sistemas dial-a-ride, transporte de pessoas portadoras de necessidades especiais e roteamento de vendedores e de unidades de manutenção.

Alves (2015) também afirma que o Problema de Roteamento de Veículos tem como alguns de seus objetivos principais a de minimizar o custo total do transporte, reduzir e minimizar o número de veículos necessários para atender todos os clientes, balancear a rota conforme o tempo de viagem e carregamento de veículos e minimizar as punições para clientes que não são atendidos.

Ainda de acordo com Ballou (2006), existe alguns princípios para uma boa roteirização e programação de rotas, carregar os caminhões com volumes que devem ser destinados as cidades mais próximas entre si afim de minimizar o trafego entre elas, combinar e produzir agrupamentos em paradas que necessitem de mais dias para serem entregues, começar o roteiro a partir da parada mais distante do ponto inicial, sequenciar as paradas para que não ocorram sobreposição entre elas afim de evitar o cruzamento das rotas, utilizar os maiores veículos disponíveis na frota, ou com capacidade suficiente para atender a maior quantidade de paradas possíveis, combinar as rotas de coleta com as rotas de entregas em vez de reserva-las para o final dos roteiros, utilização de veículos menores para realizarem entregas de baixo volume e evitar pequenas janela de tempo entre as paradas.

3.1.1 Problema de Roteamento de Veículos Capacitados (PRVC)

Para Souza (2013), o PRVC pode ser considerado uma versão mais básica do PRV. O problema tem como principal característica clientes com demandas conhecidas, são supridas por um ou mais veículos necessariamente pertencentes ao mesmo depósito.

Em um Problema de Roteamento de Veículos Capacitado (PRVC) todas as entregas e demandas dos clientes são determinísticos e não podem ser divididas, sendo todos os veículos são iguais e existe apenas uma restrição de capacidade. O objetivo é minimizar o custo total para atender todos os clientes (ALVES, 2015).

Neste problema, uma frota de veículos, localizada em um depósito, deverá atender a um conjunto de consumidores com diferentes demandas de produtos a serem distribuídos por essa frota. Este problema é denominado Problema de Veículos Capacitado (PRVC), pois a única restrição presente é a capacidade de carga dos veículos (CARABETTI, 2010).

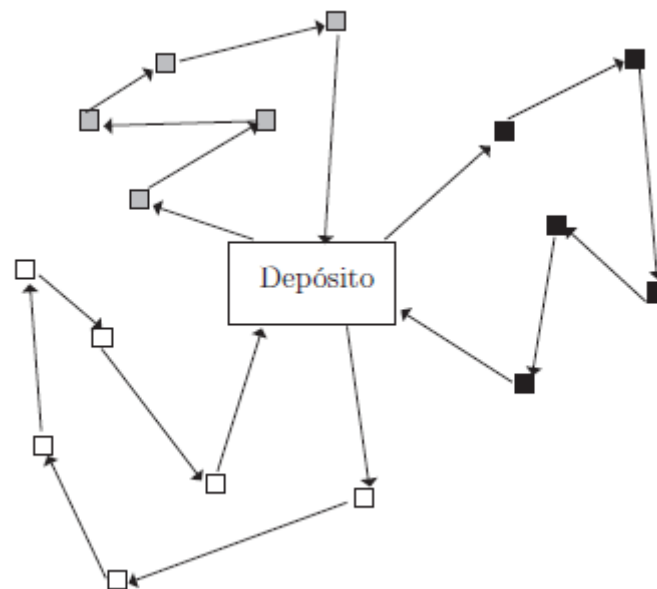


Figura 1 – Ilustração de um conjunto de rotas característico do PRVC
Fonte: Fraga (2006).

Ainda de acordo com Souza (2013), o PRVC tem como principal objetivo a determinação de rotas para n veículos, de tal forma que possam atender a toda a demanda necessária, sendo assim a soma de seus custos ou distâncias percorridas sejam mínimas.

Para Vieira (2008), a determinação da capacidade de cada veículo é a única restrição atribuída ao PRVC, sendo essa a única restrição responsável por estabelecer que para uma única rota a soma das demandas de todas as paradas não deve ser maior que a capacidade do veículo designado.

3.2 O PROBLEMA DO CAIXEIRO VIAJANTE (PCV)

O Problema do Caixeiro Viajante – PCV (*Traveling Salesman Problem - TSP*) é um problema de otimização associado à determinação dos caminhos denominados hamiltonianos (BELFIORE; FAVERO, 2012).

Segundo Goldberg e Luna (2005) a origem do PCV advém de Willian Rowan Hamilton, que propôs um jogo onde o principal desafio era encontrar o melhor conjunto de rotas sobre um dodecaedro, para concluir o desafio precisava-se necessariamente percorrer todos os vértices do dodecaedro partindo de um ponto e voltando ao fim no mesmo.

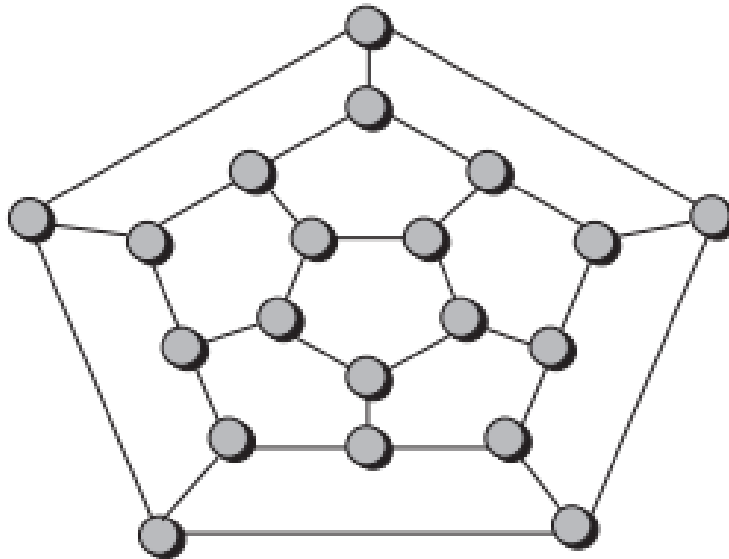


Figura 2 – Ciclo Hamiltoniano
Fonte: Goldberg e Luna (2005).

Independente desse trabalho de Hamilton, o problema do caixeiro viajante (PCV) é um problema de otimização associado ao da determinação dos caminhos hamiltonianos em um grafo qualquer. O objetivo do PCV é encontrar, em um grafo $G = (N, A)$, o caminho hamiltoniano de menor custo (GOLDBARG; LUNA, 2005).

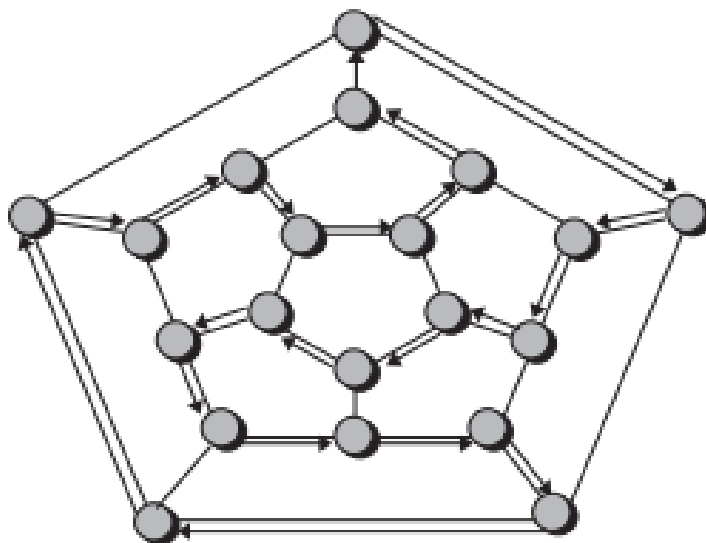


Figura 3 – Possível solução para o jogo de Hamilton
Fonte: Goldberg e Luna (2005).

Problemas de Caixeiro Viajante envolvem um conjunto de cidades, em que o caixeiro sai de uma cidade base ou um depósito, visita todas as cidades ou subconjunto delas somente uma vez, e retornando à cidade base de modo a otimizar um ou mais objetivos (ARENALES et al., 2007).

Um caixeiro viajante deve visitar n cidades diferentes iniciando e terminando o seu percurso em uma mesma cidade, não importando a ordem na qual as cidades são visitadas (RAMOS, 2001).

O problema do caixeiro-viajante é um problema de caminho ponderado mínimo com fortes restrições sobre a natureza do caminho, de modo que este caminho pode vir a não existir (GERSTING, 2008).

Goldberg e Luna (2005) reitera que existem diversas formulações ou variantes para o PCV, dentre ela podemos destacar a formulação proposta por Dantzig, Fulkerson e Johnson conforme apresentada a seguir:

$$F_{obj} = \min z = \sum_{i=1}^n \sum_{i=1}^n c_{ij} x_{ij} \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1 \quad \forall_j \in N \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1 \quad \forall_i \in N \quad (3)$$

$$\sum_{i,j \in S} x_{ij} \leq |S| - 1 \quad \forall S \subset N \quad (4)$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\} \quad \forall_{i,j} \in N \quad (5)$$

Onde a função objetivo (1) busca minimizar a distância ou custo, seguida das restrições (2) e (3) que buscam garantir que os vértices serão visitados uma única vez, a restrição (4) por sua vez impede que haja formação de sub-rotas no circuito, e pôr fim a equação (5) se classifica como uma condição binária, impondo isso para as variáveis de decisão.

Essa formulação destaca um importante aspecto do PCV que é sua natureza combinatória. Pela formulação fica claro que solucionar um PCV é determinar uma certa permutação legal de custo mínimo (GOLDBARG; LUNA, 2005).

Uma abordagem do problema é tentar desenvolver um processo heurístico de solução, ou seja, um processo que usualmente funciona e que se caracteriza por sair buscando soluções cada vez melhores até se houver sucesso, achar a melhor de todas (RAMOS, 2001).

Devido à complexidade do PCV, somente alguns problemas de pequeno porte podem ser solucionados de forma ótima, uma vez que o tempo computacional exigido para resolver problemas de grande porte de forma exata é inviável (ALVES, 2015).

3.3 HEURÍSTICAS

Os algoritmos heurísticos são desenvolvidos com o objetivo de resolver problemas de otimização com grau de complexidade elevado, onde a resolução exata se torna inviável (BIAJOLI, 2007).

Os métodos heurísticos são capazes de encontrar soluções viáveis em tempo de execução polinomial, mas não garantem a qualidade da solução encontrada, ou seja, seu caráter otimalidade ou não (FRAGA, 2006).

Os métodos heurísticos em geral se baseiam em ideias relativamente simples de senso comum de como buscar uma boa solução. Essas ideias precisam ser cuidadosamente adaptadas para se adequar ao problema de interesse específico (HILLIER; LIEBERMAN, 2006).

Já Pedro (2013) conclui que heurísticas são técnicas que empregam métodos aproximativos visando encontrar a solução ótima para os mais diversos problemas do nosso cotidiano. Essas técnicas são bastante utilizadas quando se tem uma alta complexidade diretamente associado a solução considerada ótima.

Os algoritmos heurísticos são aqueles que exploram apenas uma pequena parte do espaço de soluções, fornecendo uma solução de boa qualidade, com um custo computacional baixo (VIEIRA, 2008).

Segundo Biajoli (2007) os algoritmos heurísticos exploram em um tempo computacional relativamente rápido e com boa qualidade espaços atrás de soluções ótimas, mas nem sempre se sabe ao certo o quão ótimo serão essas soluções e qual é sua distância em relação a solução ótima.

Heurísticas podem ser classificadas quanto a seu objetivo, sendo de construção ou refinamento (PEDRO, 2013).

3.3.1 Heurísticas Construtivas

As heurísticas construtivas são métodos utilizados, geralmente, para a obtenção de uma solução inicial com baixo esforço computacional. Esses métodos se baseiam em critérios pré-definidos para a construção de uma solução (SOUZA, 2013).

Uma heurística construtiva gera uma solução de forma incremental, de modo que, a cada iteração, um novo elemento é escolhido para integrar a solução. O elemento escolhido varia de acordo com a função de avaliação utilizada e com o problema abordado (FRAGA, 2006).

Cordenonsi (2008) conclui que soluções heurísticas de construção partem de soluções vazias com o intuito de construir uma rota, inserindo basicamente um vértice de cada vez, até concluir a rota, ou seja, retornar ao ponto inicial proposto.

As heurísticas construtivas têm o objetivo de fazer a construção de uma rota inicial, utilizando soluções viáveis. Neste processo, se podem utilizar heurísticas para fazer o aperfeiçoamento da solução encontrada, onde para isso, faz-se o uso de heurísticas de melhoramento (BURIN, 2011).

3.3.1.1 Heurística do vizinho mais próximo

Simas (2007) afirma que o algoritmo do Vizinho mais próximo é usualmente de mais fácil implementação, e a ideia principal é construir uma rota sempre inserindo o vértice mais próximo ao inserido anteriormente. Elege-se um dele como ponto inicial e se procura, dentre os demais pontos, aquele que estiver mais perto do primeiro. Toma-se o segundo ponto e faz-se o mesmo procedimento, tomando o cuidado de excluir todos que já fazem parte do roteiro (NOVAES, 2007).

Novaes (2007) afirma que o método da inserção do vizinho mais próximo não pode ser considerado como eficaz, porém essa limitação é compensada com a agilidade na construção da rota, sendo essencial o tratamento posterior com algum método de refinamento da solução.

Para Cordenonsi (2008) a heurística do vizinho mais próximo tem como fatores únicos a simplicidade de entendimento e funcionamento, são facilmente entendidas e compreendidas pelos alunos e produzem um resultado consideravelmente razoável, sendo assim um excelente ponto de partida para outros métodos de refinamento.

A figura 4 mostra uma rota com 36 clientes. Como ponto inicial elegeu-se o ponto mais ao sul. Sendo assim tomando sempre o vizinho mais próximo para determinar a formação da rota.

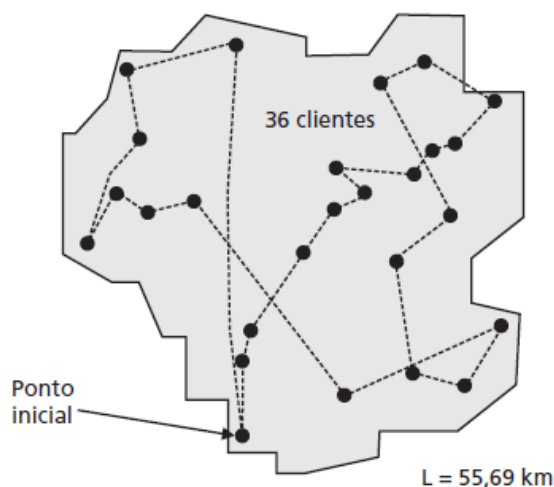


Figura 4 – Solução inicial obtido com o método do vizinho mais próximo
Fonte: Novaes (2007).

Galafassi (2011) complementa dizendo que a heurística do vizinho mais próximo utiliza o conceito de sempre dar o menor passo de cada vez, em outras palavras ele afirma que o princípio básico dessa heurística é visitar sempre o mais próximo que ainda não foi visitado e assim sucessivamente até que todas as cidades sejam percorridas.

3.3.2 Heurísticas de Refinamento

As heurísticas de melhoramento, conhecidas, também, como heurísticas de refinamento ou aperfeiçoamento, começam utilizando uma solução inicial completa, já obtida com o auxílio de um método construtivo ou de métodos aleatórios, onde tentam encontrar uma solução de melhor qualidade na vizinhança (BURIN, 2011).

Alves (2015) afirma que as melhorias de uma solução de melhoria são encontradas de duas formas distintas, a primeira é quando o critério de parada se dá quando é encontrada uma solução melhor que a já obtida, e a segunda forma é quando o método testa todas as alternativas de solução possíveis e assume a de melhor solução.

Cordenonsi (2008) diz que as heurísticas de melhoramento param quando não se pode mais encontrar uma possível melhoria na solução, o resultado

obtido pode ser considerado um ótimo local, podendo ser eventualmente um ótimo global do sistema.

Muitos autores também aplicam uma heurística de refinamento em conjunto com outra heurística de construção, ou seja, depois de adicionar os clientes as rotas, um refinamento é feito para melhorar a solução (VIEIRA, 2008).

Cazetta (2015) diz que as heurísticas de refinamento também podem ser chamadas de busca local, utilizando uma solução inicial obtida através de métodos construtivos, uma solução melhor é procurada apenas buscando e explorando a vizinhança.

O termo vizinhança se refere a rotas que se encontram próximas no espaço de busca das soluções, que podem ser alcançadas através de um movimento (CORDENONSI, 2008).

3.3.2.1 Heurística do Subcircuito Inverso

Em uma situação de n cidades, a heurística do Subcircuito Inverso começa com um circuito viável e então tenta melhorá-lo invertendo subcircuitos de duas cidades; em seguida, subcircuitos de três cidades, e continua até chegar a subcircuitos de tamanho $n-1$ (TAHA, 2008).

De acordo com Taha (2008) a heurística do Subcircuito Inverso deve ser combinada com uma heurística construtiva para determinação de uma solução inicial, de modo que essa combinação possa levar a solução a níveis superiores ao invés de ser aplicada em separado.

3.3.2.2 Algoritmo 2-OPT

Croes (1958) e Lin (1965) foram os primeiros a introduzir as heurísticas K-OPTIMAL (K-OPT) para melhorar soluções do PCV. A ideia central destas heurísticas é avaliar a estrutura de vizinhança de uma solução, buscando melhores soluções (PEDRO, 2013).

O k -opt é um procedimento intra-rota que consiste em remover k arestas de uma rota e, então, selecionar k novas arestas, dentre todas as possíveis, a fim de formar um novo circuito (VIEIRA, 2008).

Para Silva (2013) o método K-OPT se destaca na literatura pela sua praticidade e simplicidade de funcionamento.

Vieira (2008) diz que a complexidade do algoritmo aumenta de forma exponencial conforme o valor de k . Ainda nessa mesma ideia Rosin (2012) diz que os altos esforços computacionais para $k > 3$ não compensam devido à complexidade desse algoritmo, por isso as heurísticas 2-Opt e 3-Opt são bastante aplicadas e difundidas.

A definição padrão dos algoritmos 2-Opt e 3-Opt utiliza o teste de todas as possibilidades de trocas entre dois ou três pares de arcos para quaisquer problemas que tenham, no mínimo, quatro ou seis vértices, respectivamente (CORDENONSI, 2008).

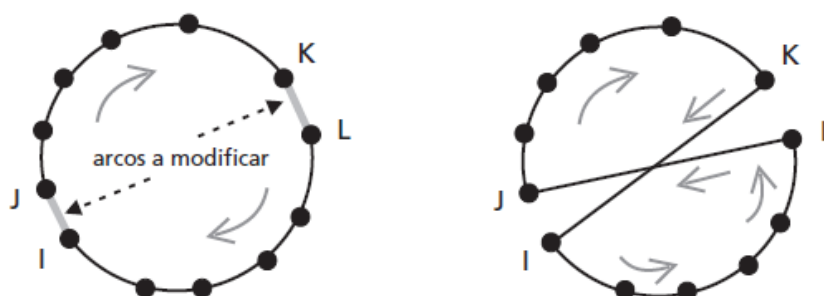


Figura 5 – Rearranjo de arestas para o método 2-Opt
Fonte: Novaes (2007).

A heurística 2-opt foi proposta por Croes (1958). Nessa heurística são realizadas trocas entre dois arcos com o objetivo de encontrar uma melhora na solução atual. Caso haja a detecção da melhoria da solução em algumas dessas trocas, esta é assumida como solução atual (BURIN, 2011).

Rosin (2012) afirma que o algoritmo 2-OPT é um dos métodos de refinamento de solução mais populares para o Problema do Caixeiro Viajante. Para o autor a ideia do método é remover um conjunto de duas arestas e reconectar os nós de tal forma que seja obtida uma nova rota ou caminho.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 TIPO DE PESQUISA

A importância de conhecer os tipos de pesquisa existentes está na necessidade de definição dos instrumentos e procedimentos que um pesquisador precisa utilizar no planejamento da sua investigação. O tipo de pesquisa categoriza a pesquisa na sua forma metodológica de estratégias investigativas (KAUARK; MANHÃES; MEDEIROS, 2010).

Cada pesquisa é naturalmente diferente de qualquer outra. Daí a necessidade de previsão e provisão de recursos de acordo com a sua especificidade. Mas quando o pesquisador consegue rotular seu projeto de pesquisa de acordo com um sistema de classificação, torna-se capaz de conferir maior racionalidade às etapas requeridas para sua execução (GIL, 2010).

Os critérios para classificação dos tipos de pesquisa variam de acordo com o enfoque dado pelo autor. A divisão obedece a interesses, condições, campos, metodologia, situações, objetivos, objetivos de estudo etc (MARCONI; LAKATOS, 2013).

Para Marconi e Lakatos (2013), os tipos de pesquisa podem ser classificados em dois tipos: a pesquisa considerada básica pura ou fundamental onde se tem progresso científico e ampliação do conhecimento, porém ela não ultrapassa os campos da teoria, sendo assim não aplicada na prática, ou pode ser classificada também como pesquisa aplicada que caracteriza-se por colocar em prática conhecimentos adquiridos através de estudos, e são conseqüentemente utilizadas para problemas que ocorrem na vida real.

Este trabalho tem como principal classificação dentre essas citadas por Marconi e Lakatos a de pesquisa aplicada, onde tem-se a principal finalidade de trazer para situações reais e aplica-las na prática a abordagem citadas na bibliografia pelos mais diversos autores.

Segundo Kauark, Manhães e Medeiros (2010), os critérios de pesquisa segundo o ponto de vista da forma de abordagem podem ser descritos como qualitativa, onde procura-se fazer uma relação entre o mundo real e o sujeito, entre

o mundo objetivo e a subjetividade do sujeito que não se pode mensurar ou ser atrelado e traduzido em números, sendo assim não se faz necessário tomar medidas técnicas estatísticas. Ela é exclusivamente descritiva, podem assim o pesquisador fazer análises de forma indutiva. Já a abordagem quantitativa busca mensurar e traduzir em números as informações observadas pelo pesquisador a ponto de classificá-las e analisá-las, essa abordagem requer o uso de métodos técnicos e de recursos estatísticos.

A pesquisa qualitativa defende a ideia de que, na produção de conhecimentos sobre os fenômenos humanos e sociais, interessa muito mais compreender e interpretar seus conteúdos que descrevê-los (TOZONI-REIS, 2009).

O presente trabalho traz uma abordagem quantitativa de estudo, pois procura trazer para a pesquisa a mensuração em números das informações observadas e obtida. A pesquisa procura usar técnicas de modelagem matemática de pesquisa operacional para auxiliar nas tomadas de decisões que serão executadas visando a otimização e resolução do problema.

Gil (2010), classifica a pesquisa segundo seus objetivos em três grandes tópicos, onde temos pesquisas de caráter exploratório que segundo o autor tem o propósito de familiarizarmos com o tema, construindo hipótese e deixando o mais explícito possível, o autor também cita a pesquisa de caráter descritiva, onde busca-se caracterizar e descrever uma determinada população ou amostra, e por último a pesquisa de caráter explicativa, onde tem-se como objetivo principal de analisar, interpretar e identificar fatores que contribuem para ocorrência dos fatos ou de fenômenos.

Este trabalho apresenta características no que se refere aos seus objetivos de pesquisa explicativas, pois tende-se a aproximar-se da realidade e conseqüentemente explicar os motivos e os porquês de uma determinada ocorrência ou fato, este trabalho apresenta também características descritivas, visando descrever e identificar relação entre os fatos, salientando o objetivo de distribuir e descrever os dados e resultados obtidos.

Em relação aos procedimentos metodológicos referente a este trabalho, podemos dizer que empregamos métodos bibliográficos, buscando em livros, dissertações e teses o embasamento teórico necessário para nos aprofundarmos na

leitura e na compreensão dos fatos e dados, podemos também considerar um estudo de caso, permitindo estudar de maneira específica e detalhada um determinado assunto afim de aprofundarmos cada vez mais em seu meio.

O trabalho em questão tem como principal metodologia própria a de comparação de dados, onde visa-se comparar ocorrências já vivenciadas de forma real com a fundamentação teórica obtidas através de estudos bibliográficos, simulando e comparando possíveis discrepância caso os dados fossem tratados e analisados com base em métodos encontrados na literatura.

4.2 COLETA DE DADOS

A coleta de dados foi realizada com base no relatório de entrega do mês de agosto, totalizando um total de 5 entregas que são realizados semanalmente. Este horizonte de coleta julga-se necessário e suficiente para análise e possível projeção para os meses subsequentes, caracterizando inclusive uma projeção anual dos dados obtidos decorrentes da análise computacional.

Os dados foram extraídos dos relatórios de entregas semanais expedidos pela empresa aos entregadores, esses relatórios contêm dados como, ordem das entregas, nome do cliente, endereço do estabelecimento e especificações dos produtos a serem entregues.

Com posse desses relatórios e com a ajuda da ferramenta Google Maps será possível obter as distâncias de um ponto a outro de entrega, sempre obedecendo o sentido das vias, dessa forma a distância de um ponto A até um ponto B varia de acordo com o sentido ou ordem de entrega escolhida, adotando esse critério buscou-se e considerou apenas as rotas de menor distância dentre todas as possibilidades de acesso de um ponto de parada a outro.

Com base nos critérios de precisão das distâncias, os dados foram extraídos da ferramenta Google Maps utilizando a unidade Inglesa ou Sistema Imperial e posteriormente convertidas para a unidade de comprimento do Sistema Internacional.

A partir dessas informações foi possível obter a matriz distância de suas respectivas entregas, procedimento primordial para implementação computacional devido as dimensões das rotas.

Tabela 1 – Exemplo de matriz distância entre cinco pontos

	1	2	3	4	5
1	-	22,36	72,11	60,00	82,46
2	22,36	-	50,00	53,85	70,00
3	72,11	50,00	-	63,25	56,57
4	60,00	53,85	63,25	-	28,28
5	82,46	70,00	56,57	28,28	-

Fonte: Belfiore e Fávero (2012).

4.3 RESOLUÇÃO DO PROBLEMA

Para a resolução do problema foram utilizados três métodos heurísticos para obtenção da rota: um método para construção inicial da rota denominada heurística de construção, e outros dois métodos para o refinamento da solução, que em geral são denominados como métodos de melhoramento.

Para a construção da solução inicial será utilizado o algoritmo de inserção do vizinho mais próxima.

Após a obtenção da solução inicial essa rota será submetida a outros dois algoritmos de refinamento com a finalidade de comparação entre os dois. Os dois métodos utilizados para o aprimoramento serão o algoritmo 2-opt e o método do Subcircuito inverso.

Os algoritmos utilizados foram implementados na plataforma Scilab 6.0.0 que pode permitir uma programação altamente complexa utilizando-se de apenas poucas linhas de programação.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 IDENTIFICAÇÃO E LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS

Para o mês de agosto a empresa teve uma necessidade de entrega para 46 pontos no município de Cascavel, esses pontos encontram-se bem dispersos no município e foram classificados e identificados como mercados, padarias e mercearias e estão dispostos conforme a figura 6.

O roteiro de entregas englobava paradas em 2 pontos que não pertenciam ao município, que foram comumente descartados por estarem entre a unidade de produção e o município de Cascavel, tornando-os assim irrelevantes, ou, insignificantes na determinação da rota final.

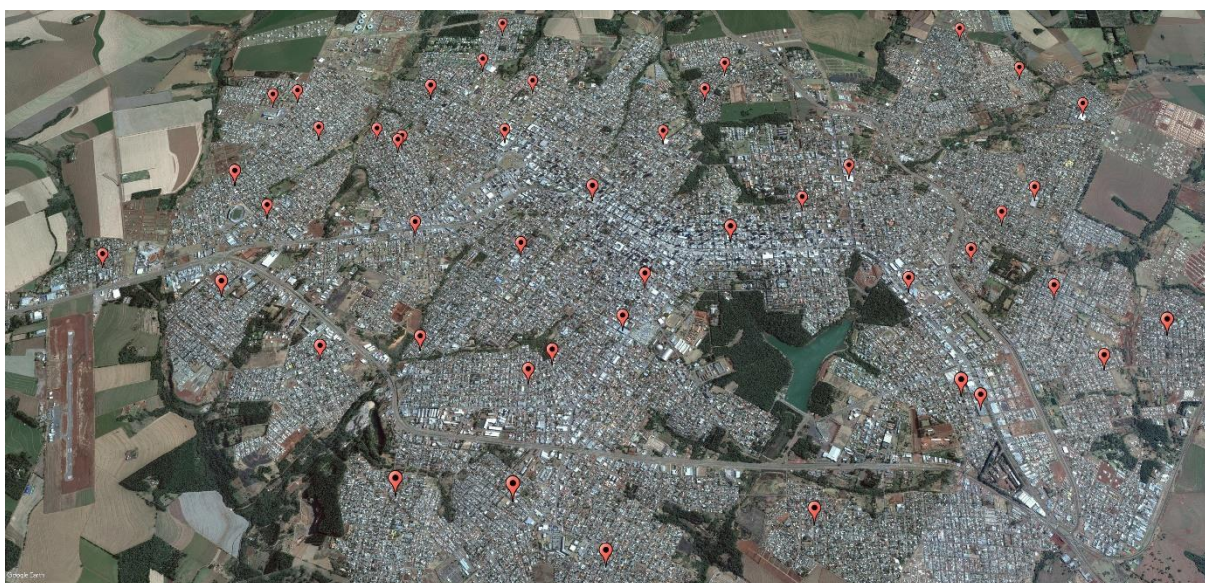


Figura 6 – Localização dos pontos.
Fonte: Google (2017).

5.2 OBTENÇÃO E ANÁLISES DAS ROTAS

Para a obtenção das rotas viáveis para as 5 entregas do mês de agosto utilizou-se o método da inserção do vizinho mais próximo para a obtenção da rota inicial e posteriormente fez-se a utilização dos 2 métodos de melhoria para refinar a solução inicial fornecida pelo método de inserção do vizinho mais próximo.

A primeira entrega do mês foi realizada no dia 2 de agosto e previa a entrega de produtos em 27 pontos espalhados pela cidade.

Para a primeira entrega a empresa percorreu uma rota sequencial ao disposto no relatório de entrega e teve sua configuração conforme a figura 7.

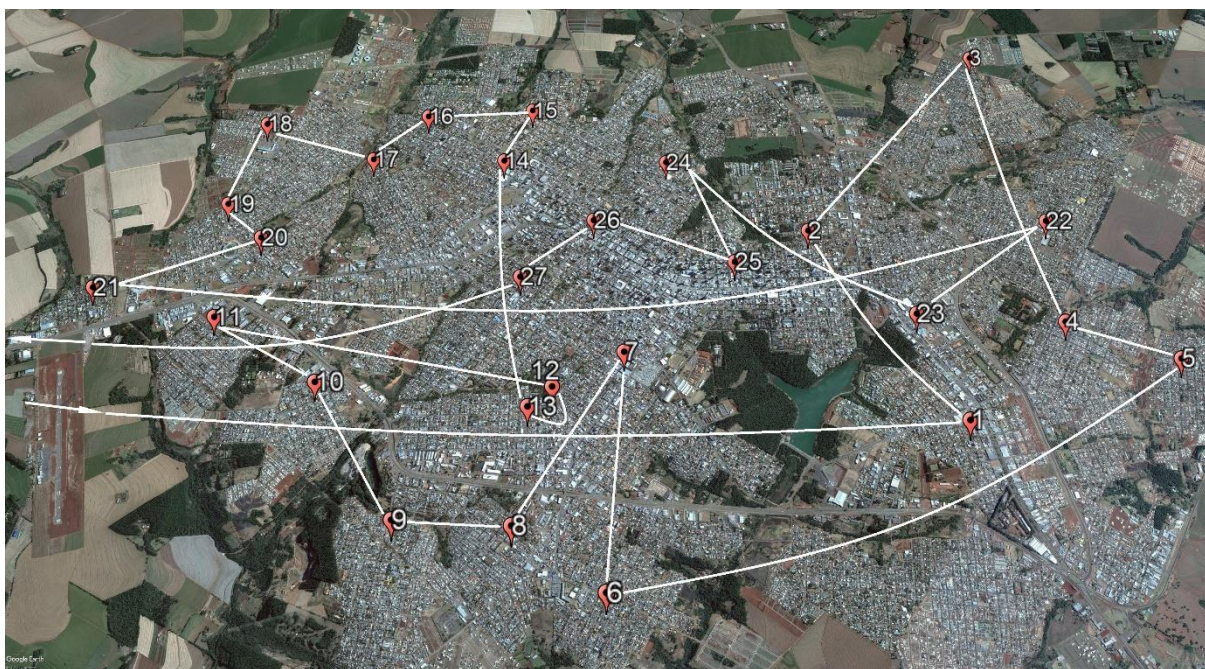


Figura 7 – Rota percorrida pela empresa para a entrega de 2 de agosto.
Fonte: Google (2017).

A seqüência de visitas bem como a distância percorrido pela empresa estão dispostas na tabela 2.

Tabela 2 – Disposição da rota de 2 de agosto empregado pela empresa.

Sequenciamento de visitas	Distância (Km)
Unidade » 1 » 2 » 3 » 4 » 5 » 6 » 7 » 8 » 9 » 10 » 11 » 12 » 13 » 14 » 15 » 16 » 17 » 18 » 19 » 20 » 21 » 22 » 23 » 24 » 25 » 26 » 27 » Unidade	301,1

Fonte: Autoria própria (2017).

Utilizando o método do Subcircuito inverso obteve-se a rota disposta na figura 8.

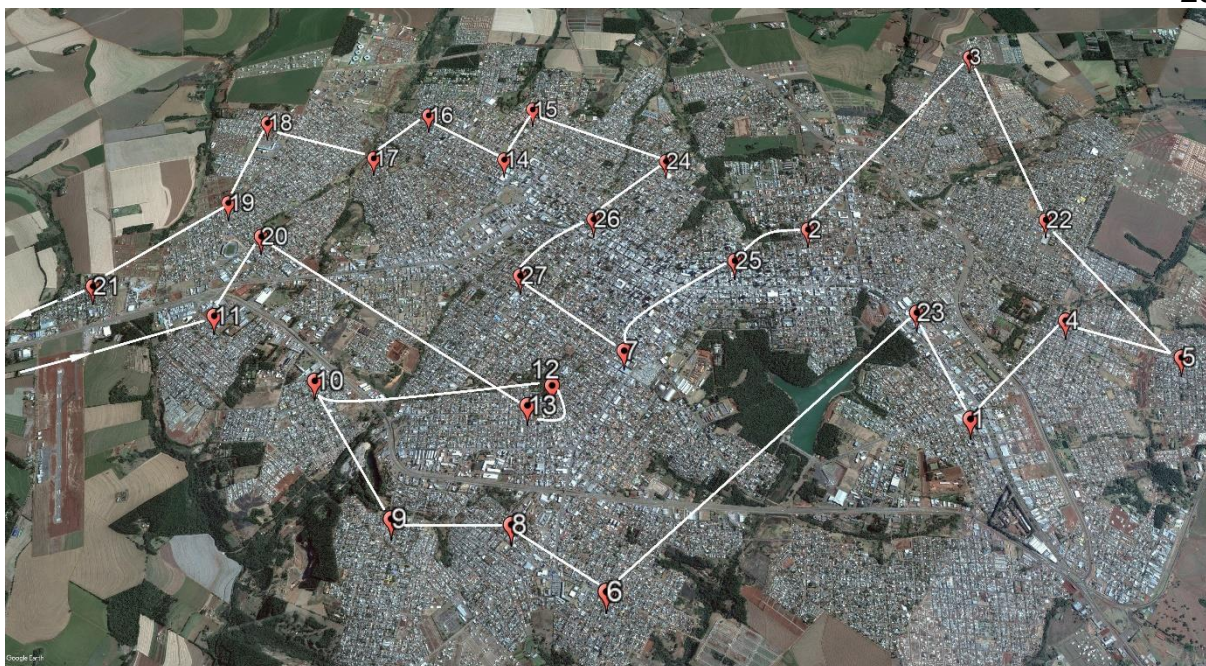


Figura 8 – Rota gerada pelo método do Subcircuito inverso para a rota de 2 de agosto.
Fonte: Google (2017).

A sequência de visitas geradas a partir do método do Subcircuito inverso estão dispostos na tabela 3.

Tabela 3 – Disposição da rota de 2 de agosto gerado a partir do método do Subcircuito inverso.

Sequenciamento de visitas	Distância (Km)
Unidade » 11 » 20 » 13 » 12 » 10 » 9 » 8 » 6 » 23 » 1 » 4 » 5 » 22 » 3 » 2 » 25 » 7 » 27 » 26 » 24 » 15 » 14 » 16 » 17 » 18 » 19 » 21 » Unidade	262,8

Fonte: Autoria própria (2017).

Para a mesma rota utilizando o método 2-Opt obteve-se a seguinte rota como mostra a figura 9.

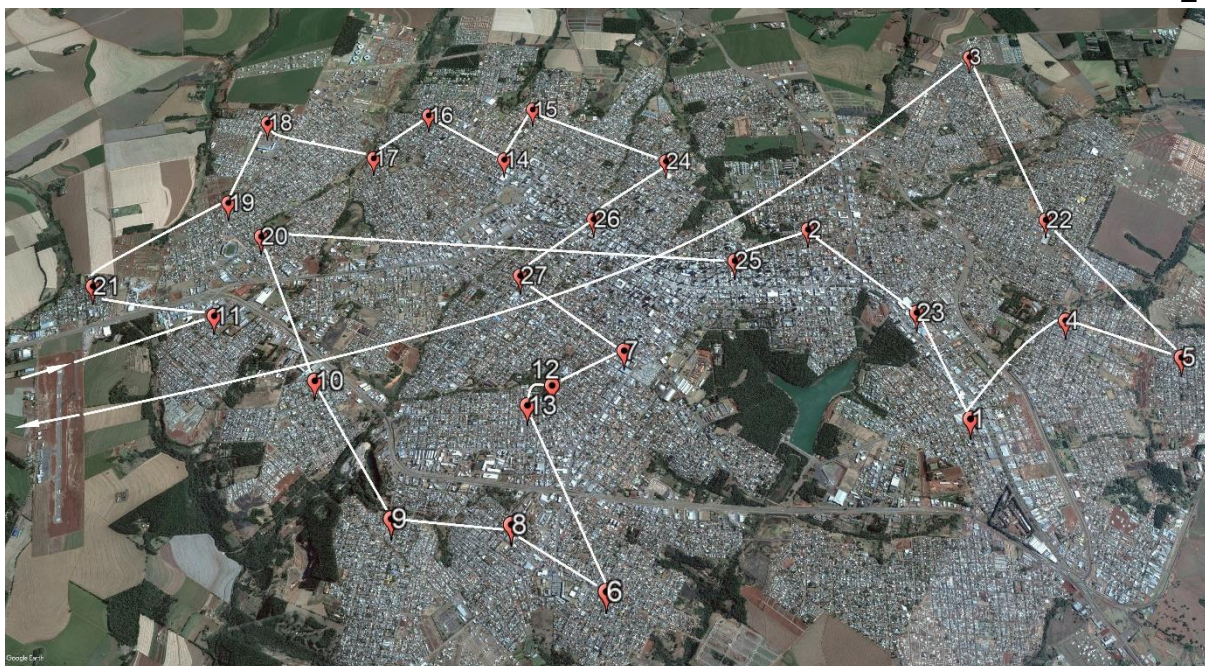


Figura 9 – Rota gerada pelo método 2-Opt para a rota de 2 de agosto.
Fonte: Google (2017).

A sequência de paradas bem como a distância obtida pelo método 2-Opt estão dispostos na tabela 4.

Tabela 4 – Disposição da rota de 2 de agosto gerado a partir do método 2-Opt.

Sequenciamento de visitas	Distância (Km)
Unidade » 11 » 21 » 19 » 18 » 17 » 16 » 14 » 15 » 24 » 26 » 27 » 7 » 12 » 13 » 6 » 8 » 9 » 10 » 20 » 25 » 2 » 23 » 1 » 4 » 5 » 22 » 3 » Unidade	272,9

Fonte: Autoria própria (2017).

Para a rota do dia 2 de agosto a solução apresentada pelo método do Subcircuito inverso foi considerada mais eficiente em comparação a rota gerada pelo método 2-Opt. Em comparação com a rota empregada pela empresa o método do Subcircuito inverso proporcionou uma melhora de cerca de 13% sobre a rota empregada pela empresa contra 9% obtido através do método 2-Opt.

A tabela 5 apresenta o comparativo entre a rota empregada pela empresa e a rota dos respectivos métodos heurísticos.

Tabela 5 – Comparativos entre os métodos heurísticos para o percurso de 2 de agosto.

Rota	Distância (Km)	Economia (km)	Percentual de melhoria
Empresa	301,1	-	-
Subcircuito inverso	262,8	38,3	12,7%
2-OPT	272,9	28,2	9,4%

Fonte: Autoria própria (2017).

A segunda rota analisada foi datada de 9 de agosto, e consistia em um percurso de 36 paradas e estão dispostos em todo o perímetro urbano da cidade de Cascavel. A figura 10 apresenta a rota empregada pela empresa para percorrer todos os pontos de paradas.



Figura 10 – Rota percorrida pela empresa para a entrega de 9 de agosto.

Fonte: Google (2017).

A sequência de visita bem como a distância empregada pela empresa para percorrer todos os 36 pontos estão dispostos na tabela 6.

Tabela 6 – Disposição da rota de 9 de agosto empregado pela empresa.

Sequenciamento de visitas	Distância (Km)
Unidade » 1 » 2 » 3 » 4 » 5 » 6 » 7 » 8 » 9 » 10 » 11 » 12 » 13 » 14 » 15 » 16 » 17 » 18 » 19 » 20 » 21 » 22 » 23 » 24 » 25 » 26 » 27 » 28 » 29 » 30 » 31 » 32 » 33 » 34 » 35 » 36 » Unidade	320,09

Fonte: Autoria própria (2017).

Para o método do Subcircuito inverso aplicado a segunda entrega obtemos a seguinte configuração de paradas, figura 11.

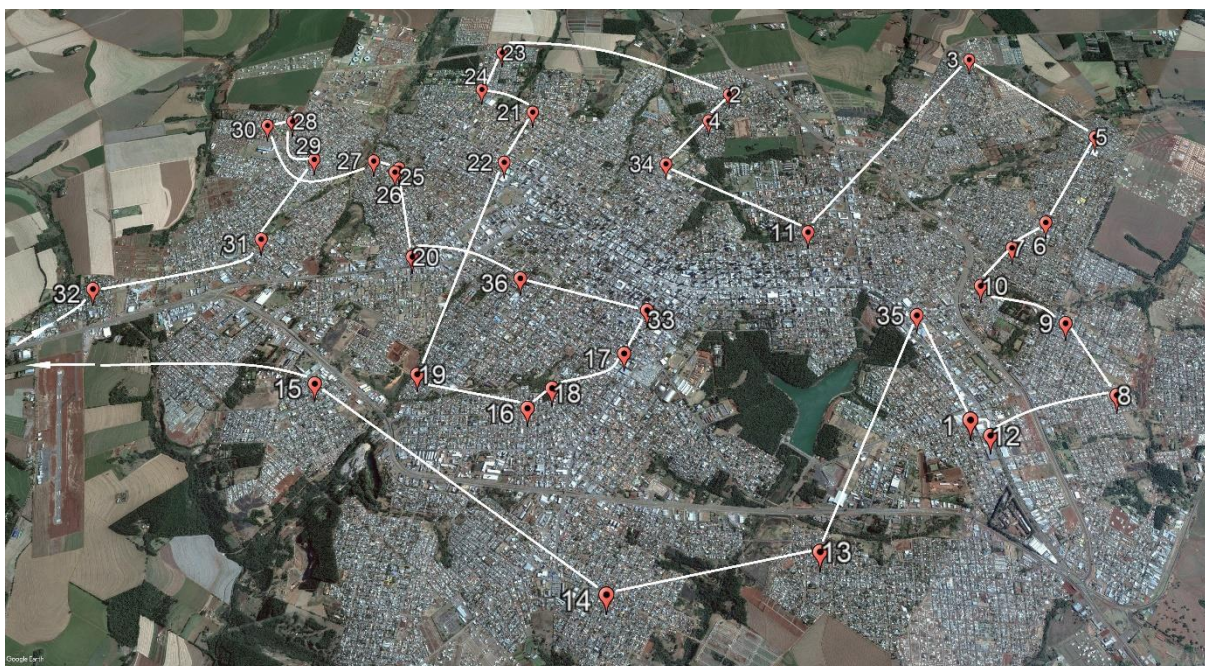


Figura 11 – Rota gerada pelo método do Subcircuito inverso para a rota de 9 de agosto.
Fonte: Google (2017).

O sequenciamento de paradas para a segunda entrega bem como a distância necessária para percorrer todos os pontos estão dispostos na tabela 7.

Tabela 7 – Disposição da rota de 9 de agosto gerado a partir do método do Subcircuito inverso.

Sequenciamento de visitas	Distância (Km)
Unidade » 32 » 31 » 29 » 28 » 30 » 27 » 25 » 26 » 20 » 36 » 33 » 17 » 18 » 16 » 19 » 22 » 21 » 24 » 23 » 2 » 4 » 34 » 11 » 3 » 5 » 6 » 7 » 10 » 9 » 8 » 12 » 1 » 35 » 13 » 14 » 15 » Unidade	269,72

Fonte: Autoria própria (2017).

A disposição da rota pela perspectiva do método 2-Opt pode ser visualizada na figura 12.

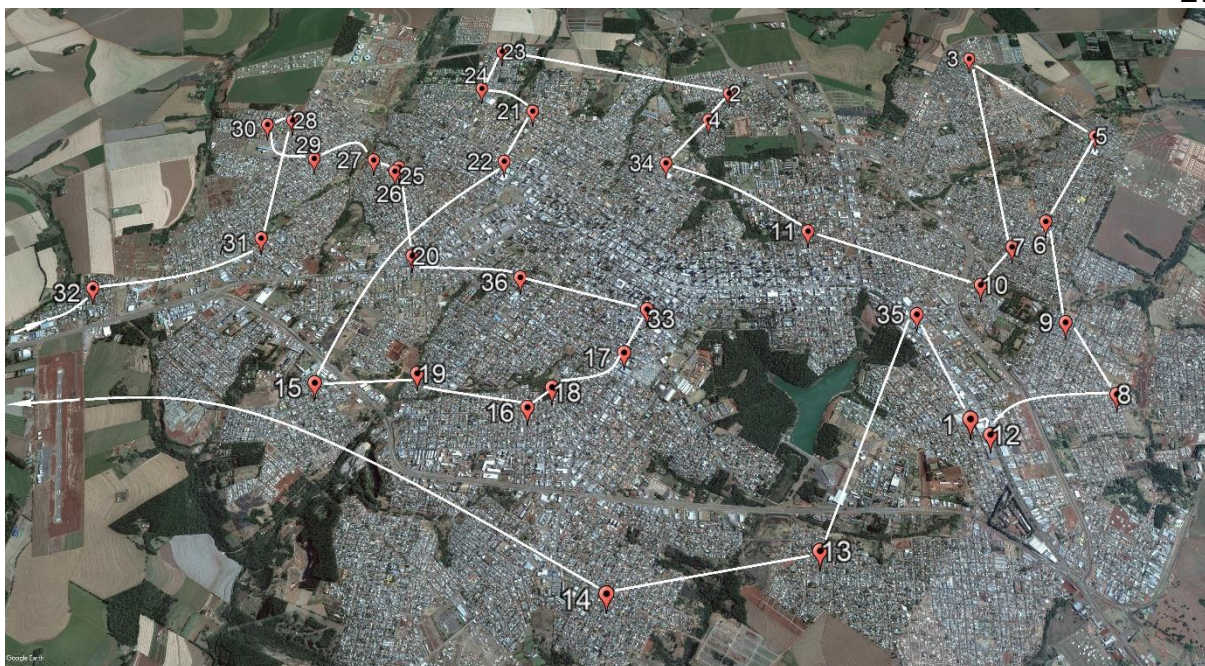


Figura 12 – Rota gerada pelo método 2-Opt para a rota de 9 de agosto.
Fonte: Google (2017).

A sequência gerada pelo método 2-Opt para a rota do dia 9 de agosto está disposta na tabela 8.

Tabela 8 – Disposição da rota de 9 de agosto gerado a partir do método 2-Opt.

Sequenciamento de visitas	Distância (Km)
Unidade » 32 » 31 » 28 » 30 » 29 » 27 » 25 » 26 » 20 » 36 » 33 » 17 » 18 » 16 » 19 » 15 » 22 » 21 » 24 » 23 » 2 » 4 » 34 » 11 » 10 » 7 » 3 » 5 » 6 » 9 » 8 » 12 » 1 » 35 » 13 » 14 » Unidade	274,71

Fonte: Autoria própria (2017).

Para a entrega do dia 9 de agosto o método do Subcircuito inverso nos apresenta uma solução mais satisfatória comparado com o método 2-Opt a economia gerada comparada a rota da empresa utilizando o método do Subcircuito inversa é de aproximadamente 50,7 quilômetros, proporcionando uma otimização próxima de 15,7%.

Podemos observar o comparativo entre os métodos bem como a rota empregada pela empresa através da tabela 9.

Tabela 9 – Comparativos entre os métodos heurísticos para o percurso de 9 de agosto.

Rota	Distância (Km)	Economia (km)	Percentual de melhoria
Empresa	320,09	-	-
Subcircuito inverso	269,72	50,37	15,7%
2-OPT	274,71	45,38	14,2%

Fonte: Autoria própria (2017).

A terceira entrega foi realizada no dia 16 de agosto e constituía em uma rota composta por 27 pontos de paradas.

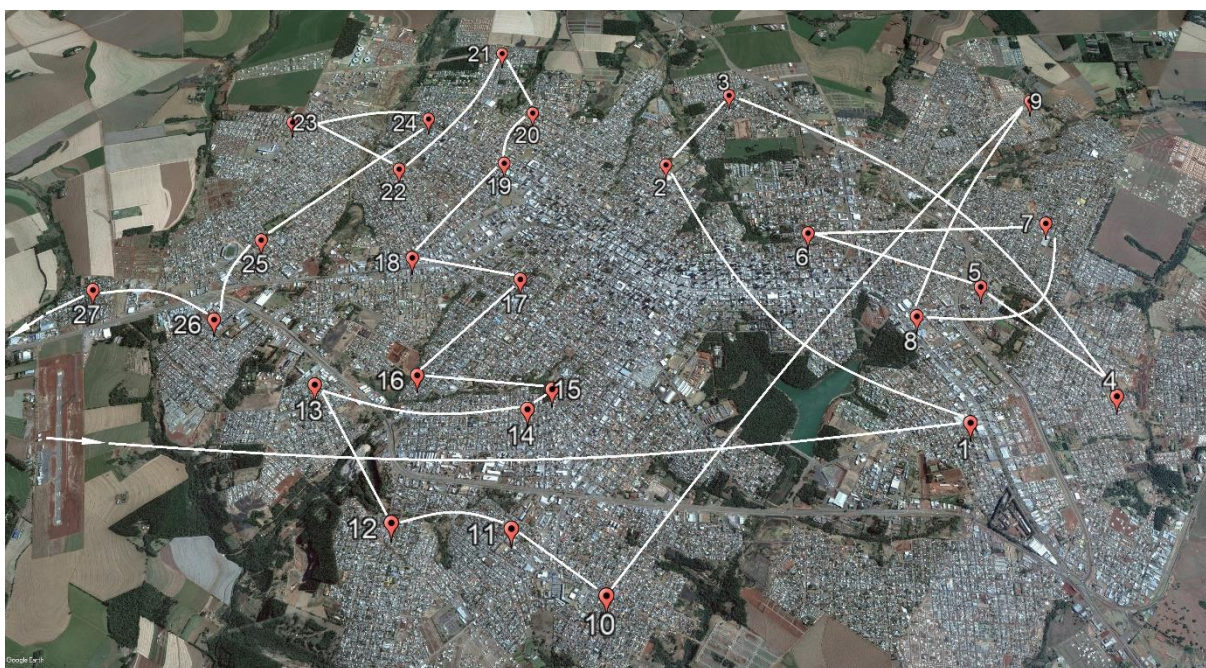


Figura 13 – Rota percorrida pela empresa para a entrega de 16 de agosto.

Fonte: Google (2017).

A figura 13 mostra a sequência de paradas tomadas pela empresa para atender toda a demanda necessária para aquela semana, para percorrer todos os pontos de paradas foram necessários aproximadamente 289,68 quilômetros. O sequenciamento da rota foi disposto conforme a tabela 10.

Tabela 10 – Disposição da rota de 16 de agosto empregado pela empresa.

Sequenciamento de visitas	Distância (Km)
Unidade » 1 » 2 » 3 » 4 » 5 » 6 » 7 » 8 » 9 » 10 » 11 » 12 » 13 » 14 » 15 » 16 » 17 » 18 » 19 » 20 » 21 » 22 » 23 » 24 » 25 » 26 » 27 » Unidade	289,68

Fonte: Autoria própria (2017).

Aplicando o método do Subcircuito inverso para a rota do dia 16 de agosto, foi obtido a seguinte configuração, figura 14.

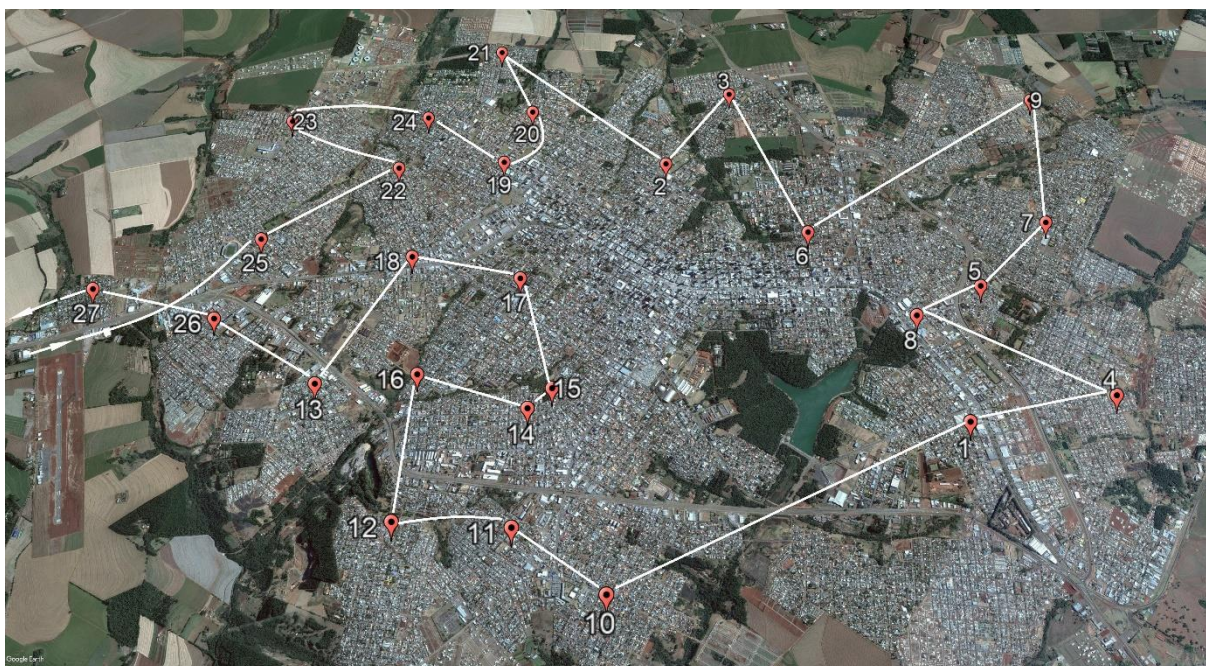


Figura 14 – Rota gerada pelo método do Subcircuito inverso para a rota de 16 de agosto.
Fonte: Google (2017).

Conforme o método do Subcircuito inverso seria necessários 264,73 quilômetros para cumprir toda a demanda necessária para aquela semana. A tabela 11 mostra a configuração de rota obtida através do respectivo método heurístico.

Tabela 11 – Disposição da rota de 16 de agosto gerado a partir do método do Subcircuito inverso.

Sequenciamento de visitas	Distância (Km)
Unidade » 25 » 22 » 23 » 24 » 19 » 20 » 21 » 2 » 3 » 6 » 9 » 7 » 5 » 8 » 4 » 1 » 10 » 11 » 12 » 16 » 14 » 15 » 17 » 18 » 13 » 26 » 27 » Unidade	264,73

Fonte: Autoria própria (2017).

A rota obtida através do emprego do método 2-Opt para a entrega do dia 16 de agosto foi apresentada conforme a figura 15.

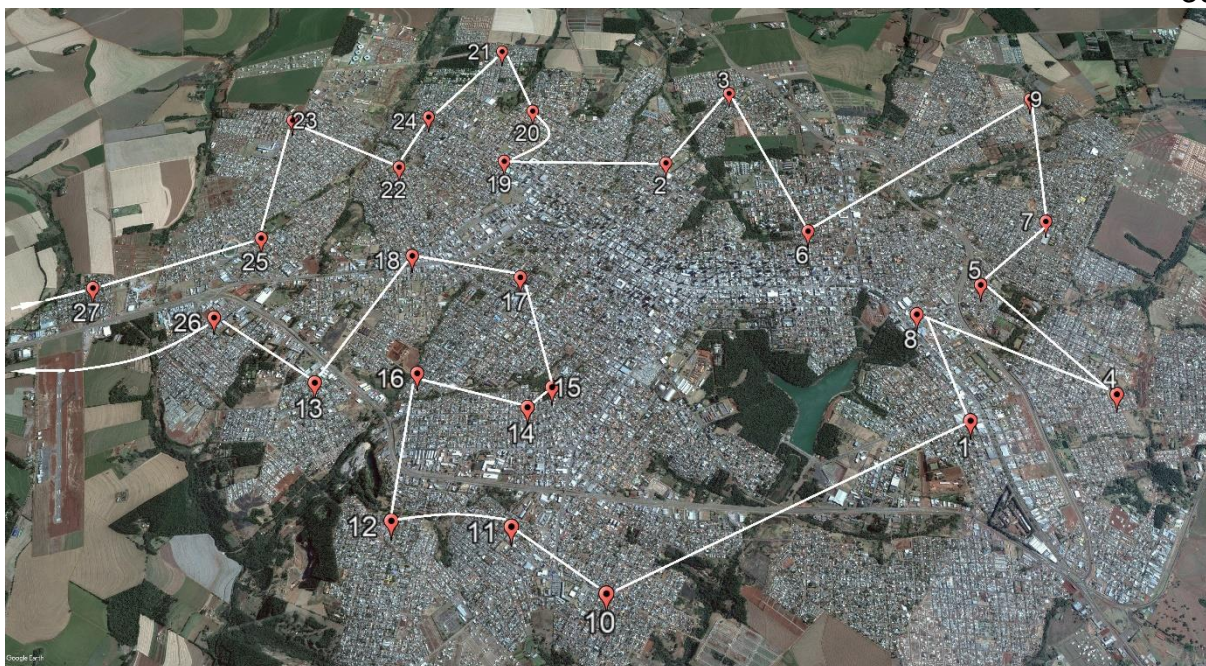


Figura 15 – Rota gerada pelo método 2-Opt para a rota de 16 de agosto.
Fonte: Google (2017).

O método 2-Opt nos mostra uma configuração onde são necessários 263,93 quilômetros para o entendimento de toda a demanda para a terceira semana do mês de agosto. A configuração da rota foi disposta conforme a tabela 12.

Tabela 12 – Disposição da rota de 16 de agosto gerado a partir do método 2-Opt.

Sequenciamento de visitas	Distância (Km)
Unidade » 27 » 25 » 23 » 22 » 24 » 21 » 20 » 19 » 2 » 3 » 6 » 9 » 7 » 5 » 4 » 8 » 1 » 10 » 11 » 12 » 16 » 14 » 15 » 17 » 18 » 13 » 26 » Unidade	263,93

Fonte: Autoria própria (2017).

Já para a entrega do dia 16 de agosto o método 2-Opt se mostrou mais eficiente diante do método do Subcircuito inverso, onde são necessários 263,93 km e 264,73 km respectivamente para o atendimento de toda a demanda.

O comparativo entre os métodos heurísticos está apresentado na tabela 13.

Tabela 13 – Comparativos entre os métodos heurísticos para o percurso de 16 de agosto.

Rota	Distância (Km)	Economia (km)	Percentual de melhoria
Empresa	289,68	-	-
Subcircuito inverso	264,73	24,95	8,6%
2-OPT	263,93	25,75	8,9%

Fonte: Autoria própria (2017).

A quarta entrega foi realizada no dia 23 de agosto e compreendeu uma demanda de entregas para 28 pontos distribuídos por todo o perímetro urbano da cidade.

A figura 16 apresenta a rota empregada pela empresa para atender todos os pontos de demanda para aquela semana.

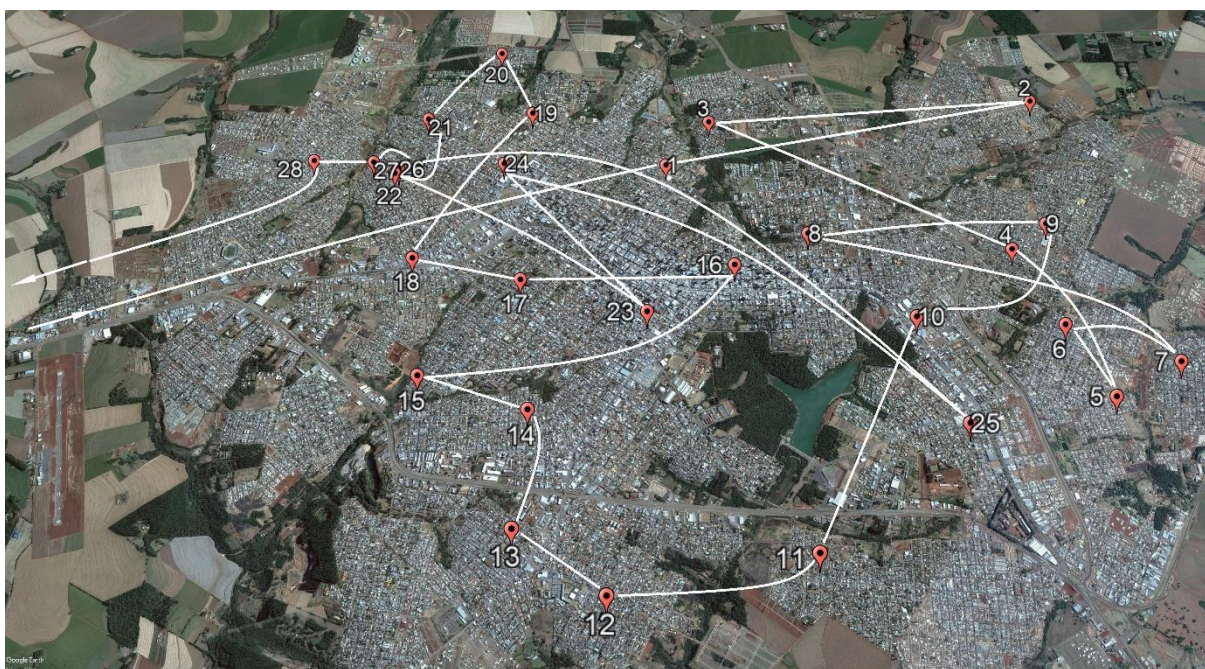


Figura 16 – Rota percorrida pela empresa para a entrega de 23 de agosto.

Fonte: Google (2017).

A distância percorrida pela empresa bem como a sequência percorrida para atender todos os pontos de entrega está disposto conforme a tabela 14.

Tabela 14 – Disposição da rota de 23 de agosto empregado pela empresa.

Sequenciamento de visitas	Distância (Km)
Unidade » 1 » 2 » 3 » 4 » 5 » 6 » 7 » 8 » 9 » 10 » 11 » 12 » 13 » 14 » 15 » 16 » 17 » 18 » 19 » 20 » 21 » 22 » 23 » 24 » 25 » 26 » 27 » 28 » Unidade	302,39

Fonte: Autoria própria (2017).

Aplicando o método do Subcircuito inverso para a entrega em questão temos a seguinte configuração de sequência de visitas, figura 17.

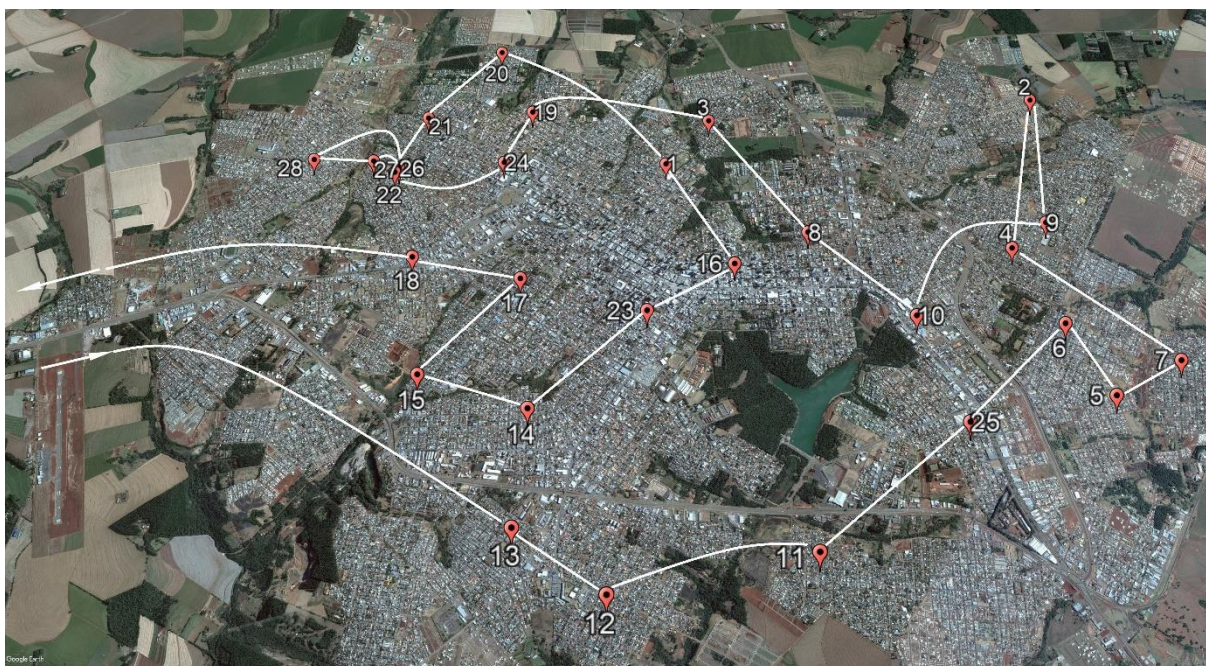


Figura 17 – Rota gerada pelo método do Subcircuito inverso para a rota de 23 de agosto.
Fonte: Google (2017).

O método do Subcircuito inverso nos aponta uma rota onde são necessários aproximadamente 268,43 quilômetros para percorrer todos pontos de paradas. A tabela 15 nos mostra a configuração da rota para o método do Subcircuito inverso.

Tabela 15 – Disposição da rota de 23 de agosto gerado a partir do método do Subcircuito inverso.

Sequenciamento de visitas	Distância (Km)
Unidade » 13 » 12 » 11 » 25 » 6 » 5 » 7 » 4 » 2 » 9 » 10 » 8 » 3 » 19 » 24 » 22 » 27 » 28 » 26 » 21 » 20 » 1 » 16 » 23 » 14 » 15 » 17 » 18 » Unidade	268,43

Fonte: Autoria própria (2017).

Para o método 2-Opt obtemos uma configuração de roteiro conforme ilustrado na figura 18.

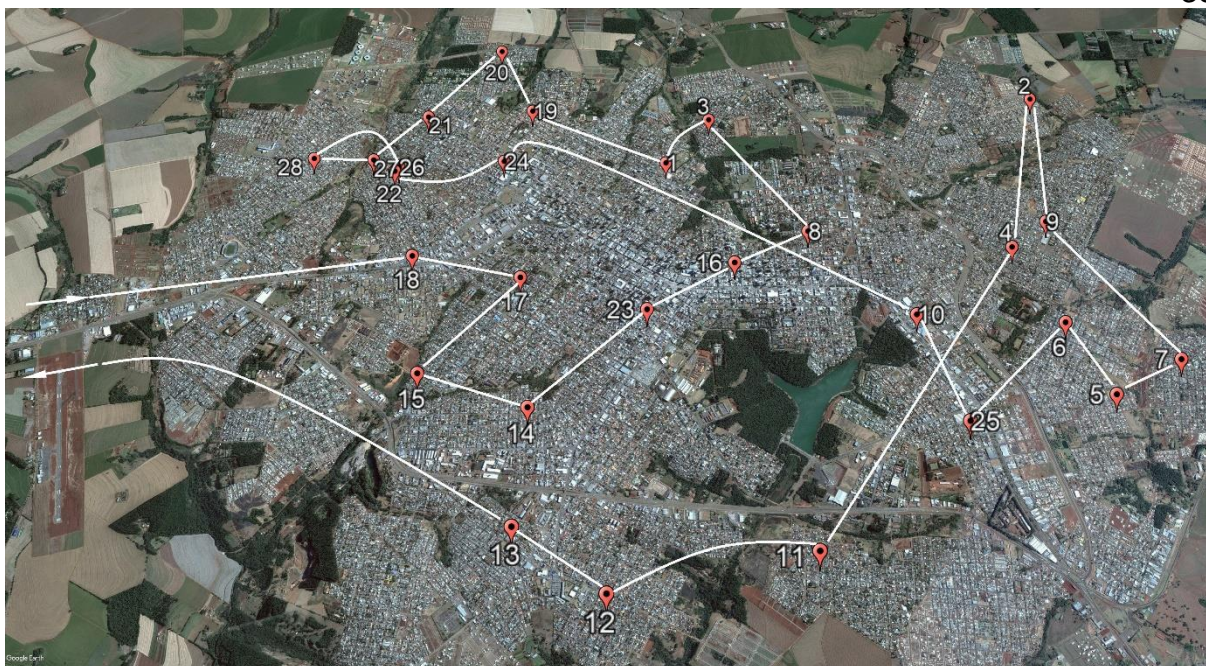


Figura 18 – Rota gerada pelo método 2-Opt para a rota de 23 de agosto.
Fonte: Google (2017).

Conforme a configuração da rota gerada pelo método 2-Opt seriam necessários aproximadamente 270,2 quilômetros para percorrer todos os pontos de demanda no município. A sequência de visitas para o método 2-Opt pode ser visualizada conforme a tabela 16.

Tabela 16 – Disposição da rota de 23 de agosto gerado a partir do método 2-Opt.

Sequenciamento de visitas	Distância (Km)
Unidade » 18 » 17 » 15 » 14 » 23 » 26 » 8 » 3 » 1 » 19 » 20 » 21 » 27 » 28 » 26 » 22 » 24 » 10 » 25 » 6 » 5 » 7 » 9 » 2 » 4 » 11 » 12 » 13 » Unidade	270,2

Fonte: Autoria própria (2017).

O método do Subcircuito inverso mostrou-se mais eficiente para esta disposição de pontos a diferença entre ambos os métodos foi de aproximadamente 2,2 quilômetros. Os comparativos entre os métodos bem como a sequência percorrida pela empresa podem ser visualizados na tabela 17.

Tabela 17 – Comparativos entre os métodos heurísticos para o percurso de 23 de agosto.

Rota	Distância (Km)	Economia (km)	Percentual de melhoria
Empresa	302,39	-	-
Subcircuito inverso	268,43	33,96	11,2%
2-OPT	270,2	32,19	10,6%

Fonte: Autoria própria (2017).

A entrega da última semana de agosto foi realizada no dia 30 e compreendeu a demanda de 27 pontos de paradas no perímetro urbano de Cascavel. O roteiro adotado pela empresa pode ser observado na figura 19.



Figura 19 – Rota percorrida pela empresa para a entrega de 30 de agosto.
Fonte: Google (2017).

Segundo a sequência de visitas adotado pela empresa, seriam necessários aproximadamente 276,32 quilômetros para que todas as entregas sejam efetuadas. O sequenciamento pode ser visualizado na tabela 18.

Tabela 18 – Disposição da rota de 30 de agosto empregado pela empresa.

Sequenciamento de visitas	Distância (Km)
Unidade » 1 » 2 » 3 » 4 » 5 » 6 » 7 » 8 » 9 » 10 » 11 » 12 » 13 » 14 » 15 » 16 » 17 » 18 » 19 » 20 » 21 » 22 » 23 » 24 » 25 » 26 » 27 » Unidade	276,32

Fonte: Autoria própria (2017).

Para o método do Subcircuito inverso obtemos a seguinte configuração de sequenciamento da rota, figura 20.



Figura 20 – Rota gerada pelo método do Subcircuito inverso para a rota de 30 de agosto.
Fonte: Google (2017).

Conforme a rota obtida pelo respectivo método seria necessários aproximadamente 264,89 quilômetros para que todos os nós sejam atendidos. A sequência de visitas está disposta conforme a tabela 19.

Tabela 19 – Disposição da rota de 30 de agosto gerado a partir do método do Subcircuito inverso.

Sequenciamento de visitas	Distância (Km)
Unidade » 16 » 18 » 17 » 14 » 15 » 6 » 13 » 10 » 9 » 11 » 8 » 7 » 5 » 4 » 1 » 3 » 12 » 2 » 21 » 19 » 20 » 22 » 23 » 24 » 25 » 26 » 27 » Unidade	264,89

Fonte: Autoria própria (2017).

Já para o método 2-Opt foi obtida o sequenciamento de visitas conforme a figura 21.

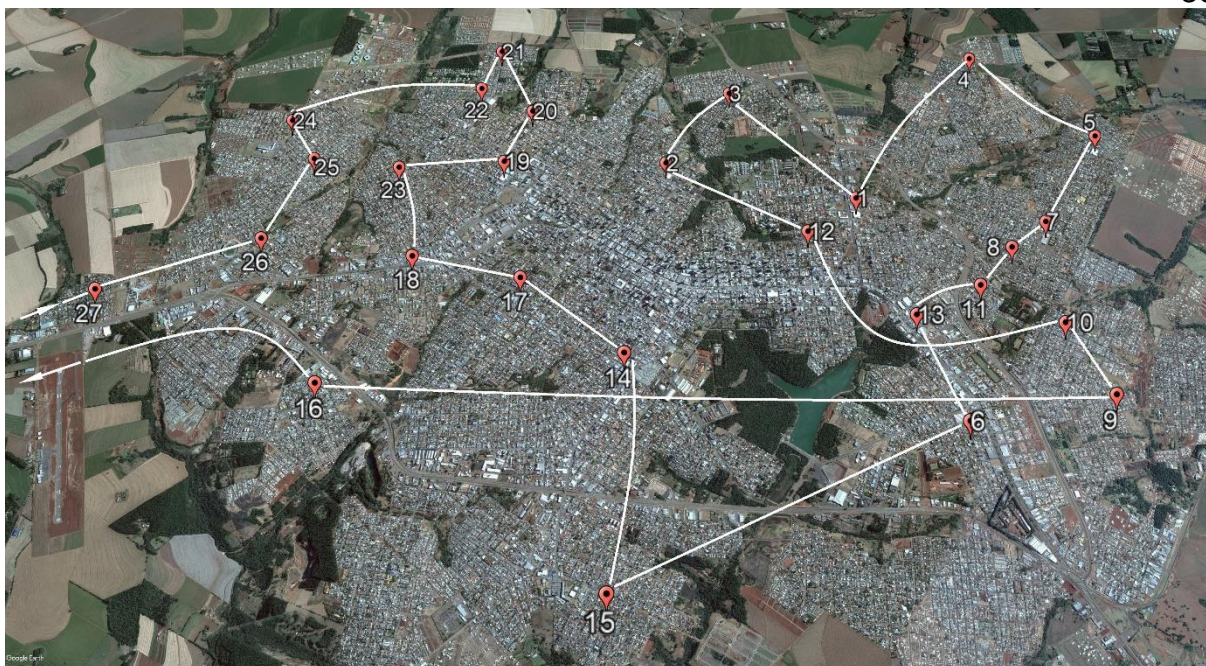


Figura 21 – Rota gerada pelo método 2-Opt para a rota de 30 de agosto.
Fonte: Google (2017).

Conforme a rota obtida através do emprego do método 2-Opt para a entrega do dia 30 seriam necessários 270,04 quilômetros para que toda a demanda daquela semana seja atendida. A sequência de visitas pode ser visualizada através da tabela 20.

Tabela 20 – Disposição da rota de 30 de agosto gerado a partir do método 2-Opt.

Sequenciamento de visitas	Distância (Km)
Unidade » 27 » 26 » 25 » 24 » 22 » 21 » 20 » 19 » 23 » 18 » 17 » 14 » 15 » 6 » 13 » 11 » 8 » 7 » 5 » 4 » 1 » 3 » 2 » 12 » 10 » 9 » 16 » Unidade	270,04

Fonte: Autoria própria (2017).

A rota obtida pelo método do Subcircuito inverso se saio novamente mais eficiente em relação ao método 2-Opt, a diferença agora em pouco mais de 5 quilômetros. A comparação entre os métodos heurísticos pode ser visualizada através da tabela 21.

Tabela 21 – Comparativos entre os métodos heurísticos para o percurso de 30 de agosto.

Rota	Distância (Km)	Economia (km)	Percentual de melhoria
Empresa	276,32	-	-
Subcircuito inverso	264,89	11,43	4,1%
2-OPT	270,04	6,28	2,3%

Fonte: Autoria própria (2017).

6 CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos, pode-se concluir que a principal meta em estudo foi atingida, através dos métodos heurísticos empregados foi possível extrair uma otimização satisfatória nas rotas utilizadas no estudo.

O método do Subcircuito inverso nos proporcionou uma melhor otimização na maioria das rotas analisadas, onde o método 2-Opt só se sobressaiu em apenas uma rota. Apesar de serem métodos bastante semelhantes vemos na prática que eles podem nos gerar resultados e configurações de rotas totalmente diferentes de um para outro.

Ambos os métodos combinados poderiam proporcionar uma economia total para o mês de agosto em aproximadamente 159,81 quilômetros, isso corresponde a uma otimização próxima a 11% ao mês. Projetando uma média de 10% a 15% ao mês para cidades com demandas maiores os resultados seriam ainda mais expressivos.

Os ganhos econômicos não ficariam restritos apenas a ganhos de quilometragem, a otimização destas rotas também implicaria em um ganho proporcional em relação ao tempo de entrega, rotas mais curtas acarretariam em entregas em um espaço menor de tempo.

Para o caso de rotas dentro de perímetros urbanos, pode-se destacar a importância da utilização de matrizes distâncias como input de dados, visto que devemos considerar o sentido das vias e os retornos em grandes avenidas para a geração dos percursos, sendo estes fatores que possuem grande influência na construção da rota final. A geração das matrizes distâncias proporcionam uma análise real e aproximada da solução ótima, através dela podemos obter distâncias mais precisas de um ponto a outro.

7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Construção de um algoritmo para construção de matrizes distancia utilizando com base no API do Google Maps, a construção deste algoritmo será capaz de agilizar o processo de otimização das rotas, visto que sua construção manual demanda de longos períodos.

Ampliar o estudo considerando o tempo entre os deslocamentos, como temos rotas em perímetros urbanos nem sempre o caminho mais curto se tornara o mais viável, visto que em grandes cidades temos congestionamentos e muitos semáforos.

Explorar outras cidades atendidas pela empresa, principalmente grandes centros, onde possui-se um número maior de pontos de demanda.

REFERÊNCIAS

ALVES, Fernando Silveira. **Problemas de roteamento de veículos aplicados no planejamento logístico do transporte escolar da cidade de Coxim - MS**. 2015. 92 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Matemática Aplicada e Computacional, Instituto de Matemática, Estatística e Computação Científica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2015. Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?view=000953072>>. Acesso em: 21 maio 2017.

ALVES, Roberta. **Modelo matemático para seleção de rotas de patrulhamento escolar: o caso da patrulha escolar de Ponta Grossa**. 2015. 70 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Produção, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2015. Disponível em: <http://ppgep.pg.utfpr.edu.br/site/wp-content/uploads/2015/05/PG_PPGEp_M-_Alves-Roberta_2015.pdf>. Acesso em: 20 maio 2017.

ARENALES, Marcos et al. **Pesquisa Operacional**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.

BALLOU, Ronald H. **Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos/Logística Empresarial**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.

BALLOU, Ronald H. **Logística Empresarial: Transportes, Administração de Materiais e Distribuição Física**. São Paulo: Atlas, 1993.

BELFIORE, Patrícia; FÁVERO, Luiz Paulo. **Pesquisa Operacional: Para cursos de Administração, Contabilidade e Economia**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.

BERTAGLIA, Paulo Roberto. **Logística e Gerenciamento da Cadeia de Abastecimento**. 2. Ed. São Paulo: Saraiva, 2009.

BIAJOLI, Fabrício Lacerda. **Novas heurísticas para o problema de geração de escalas de jogos para torneios esportivos**. 2007. 107 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Computação Aplicada, Serviço de Formação e Documentação (SID), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2007. Disponível em: <<http://www.lac.inpe.br/~lorena/fabricio/Dissertacao.pdf>>. Acesso em: 18 maio 2017.

BOWERSOX, Donald J.; CLOSS David J.; COOPER, M. Bixby. **Gestão da Cadeia de Suprimentos e Logística**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.

BULLER, Luz Selene. **Logística empresarial**. Curitiba: IESDE, 2012.

BURIN, Paulo Juliano. **Roteirização dinâmica de veículos em áreas urbanas congestionadas**. 2011. 124 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Produção, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/96045/298474.pdf>>. Acesso em: 22 maio 2017.

CAIXETA FILHO V. J.; MARTINS S. R, **Gestão Logística do Transporte de Cargas**. São Paulo: Atlas, 2007.

CARABETTI, Eduardo Goecking. **Metaheurística Colônia de Formigas aplicada ao Problema de Roteamento de Veículos com Coleta e Entrega e Janela de Tempo**. 2010. 70 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Modelagem Matemática e Computacional., Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010. Disponível em: <http://www.files.scire.net.br/atric/cefet-mg-ppgmmc_upl//THESIS/21/eduardogoeckingcarabetti.pdf>. Acesso em: 24 maio 2017.

CAZETTA, Paôla Pinto. **Abordagens heurísticas para tratar o problema do Caixeiro Viajante Preto e Branco**. 2015. 134 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Ciência da Computação, Departamento de Informática, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2015. Disponível em: <http://locus.ufv.br/bitstream/handle/123456789/7558/texto_completo.pdf>. Acesso em: 15 maio 2017.

CHOPRA, Sunil; MEINDL, Peter. **Gestão da Cadeia de Suprimentos: estratégia; planejamento e operações**. 4 ed. São Paulo: Pearson, 2011.

CHRISTOPHER, Martin. **Logística e Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos**. São Paulo: Cengage Learning, 2013.

CORDENONSI, Andre Zanki. **Ambientes, Objetos e Dialogicidade: uma estratégia de ensino superior em heurísticas e metaheurísticas**. 2008. 228 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-Graduação em Informática na Educação, Centro Interdisciplinar de Novas Tecnologias na Educação, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/14668/000666903.pdf>>. Acesso em: 12 maio 2017.

FRAGA, Marcelo Caramuru Pimentel. **Uma metodologia híbrida Colônia de Formigas-Busca Tabu-Reconexão por Caminhos para resolução do problema de roteamento de veículos com janelas de tempo**. 2006. 78 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Modelagem Matemática e Computacional, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006. Disponível em: <<http://www.mmc.cefetmg.br/info/downloads/D017-MarceloCaramuruPimentelFraga.pdf>>. Acesso em: 18 maio 2017.

GALAFASSI, Cristiano. **Aplicação de metaheurísticas na abordagem do problema de roteamento de veículos capacitado com janela de tempo**. 2011. 215 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Computação Aplicada, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2011. Disponível em: <<http://www.repositorio.jesuita.org.br/bitstream/handle/UNISINOS/3229/CristianoGalafassi.pdf>>. Acesso em: 20 maio 2017.

GERSTING, Judith L.. **Fundamentos Matemáticos para a Ciência da Computação**. 5. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2008.

GIL, Antonio Carlos. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

GOLDBARG, Marco Cesar; LUNA, Henrique Pacca L.. **Otimização Combinatória e Programação Linear**. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2005.

HILLIER, F. S., LIEBERMAN, G. J.. **Introdução a Pesquisa Operacional**. São Paulo: McGraw-Hill, 2006.

KAUARK, Fabiana da Silva; MANHÃES, Fernanda Castro; MEDEIROS, Carlos Henrique. **Metodologia da Pesquisa**: guia prático. Itabuna: Litterarum, 2010.

LOPES, Heitor Silverio; RODRIGUES, Luiz Carlos de Abreu; STEINER, Maria Teresina Arns. **Meta-Heurísticas em Pesquisa Operacional**. Curitiba: Omnipax, 2013.

LUZ, Maria Laura Gomes Silva da et al. **Metodologia da Pesquisa Científica e Produção de Textos para Engenharia**. Pelotas: Editora e Gráfica Universitária, 2012.

MANGUINO, João Luiz Veiga. **Problema de roteamento de veículos com frota mista, janelas de tempo e custos escalonados**. 2013. 87 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Produção, Departamento de Engenharia de Produção, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. **Técnicas de Pesquisa**: planejamento e execução de pesquisas, amostragem e técnicas de pesquisa, elaboração, análise e interpretação dos dados. São Paulo: Atlas, 2013.

NOVAES, Antonio Galvão. **Logística e Gerenciamento da Cadeia de Distribuição**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.

PEDRO, Odivaney Ramos. **Uma abordagem de Busca Tabu para o Problema do Caixeiro Viajante com Coleta de Prêmios**. 2013. 109 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade

Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, 2013. Disponível em: <<http://www.ppgee.ufmg.br/defesas/962M.PDF>>. Acesso em: 20 maio 2017.

RAMOS, José Marcio Benite. **Implementação e Análise do Problema do Caixeiro Viajante usando uma nova abordagem através dos Algoritmos Genético e Simulated Annealing**. 2001. 74 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência da Computação, Programa de Pós-graduação em Ciências da Computação, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/79640/250657.pdf>>. Acesso em: 15 maio 2017.

ROSA, Adriano Carlos. **Gestão do Transporte na Logística de Distribuição Física: uma análise da minimização do custo operacional**. 2007. 90 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Gestão em Desenvolvimento Regional, Departamento de Economia, Contabilidade e Administração, Universidade de Taubaté, Taubaté, 2007. Disponível em: <http://www.ppga.com.br/mestrado/2007/rosa-adriano_carlos.pdf>. Acesso em: 19 maio 2017.

ROSA, Rodrigo de Alvarenga. **Gestão de Operações e Logística I**. Florianópolis: Departamento de Ciências da Administração / UFSC; [Brasília] : Capes : UAB, 2011.

ROSIN, Rafael Alzuguir. **Heurísticas com busca local para solução do problema de cobertura de rotas com cardinalidade restrita**. 2012. 107 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Transportes, Departamento de Engenharia de Transportes, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

SALOMON, Délcio Vieira. **Como Fazer uma Monografia**. 11. ed. São Paulo: Martins Fontes, 2004.

SILVA, Bruno de Castro Honorato. **Otimização de rotas utilizando abordagens heurísticas em um ambiente georreferenciado**. 2013. 105 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência da Computação, Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, 2013.

SILVA, Edna Lúcia da; MENEZES, Estera Muszkat. **Metodologia da Pesquisa e Elaboração de Dissertação**. Florianópolis: Laboratório de Ensino A Distância da Ufsc, 2001.

SIMAS, Etiene Pozzobom Lazzeris. **Utilizando a Busca Tabu na resolução do problema de roteamento de veículos**. 2007. 155 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Computação Aplicada, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2007. Disponível em: <[http://www.repositorio.jesuita.org.br/bitstream/handle/UNISINOS/2252/utilizando a busca.pdf?sequence=1](http://www.repositorio.jesuita.org.br/bitstream/handle/UNISINOS/2252/utilizando_a_busca.pdf?sequence=1)>. Acesso em: 11 maio 2017.

SOUZA, Vitor Andrade Almeida de. **Algoritmos para o Problema de Roteamento de Veículos Capacitado com Restrições de Carregamento Bidimensional**. 2013. 110 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência da Computação, Departamento de Ciência da Computação, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013. Disponível em: <<https://www.dcc.ufmg.br/pos/cursos/defesas/1652M.PDF>>. Acesso em: 22 maio 2017.

TAHA, Hamdy A.. **Pesquisa Operacional**. 8. ed. São Paulo: Pearson, 2008.

TOZONI-REIS, Marília Freitas de Campos. **Metodologia da Pesquisa**. 2. ed. Curitiba: IESDE Brasil S.a., 2009.

VIEIRA, Heloisa Passarelli. **Metaheurística para a Solução de Problemas de Roteamento de Veículos com Janela de Tempo**. 2008. 108 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Matemática Aplicada, Departamento de Matemática Aplicada, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008. Disponível em: <http://www.ime.unicamp.br/~chico/tese_heloisa.pdf>. Acesso em: 10 maio 2017.

WU, Luciele. **O problema de roteirização periódica de veículos**. 2007. 109 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Transportes, Departamento de Engenharia de Transportes, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.