

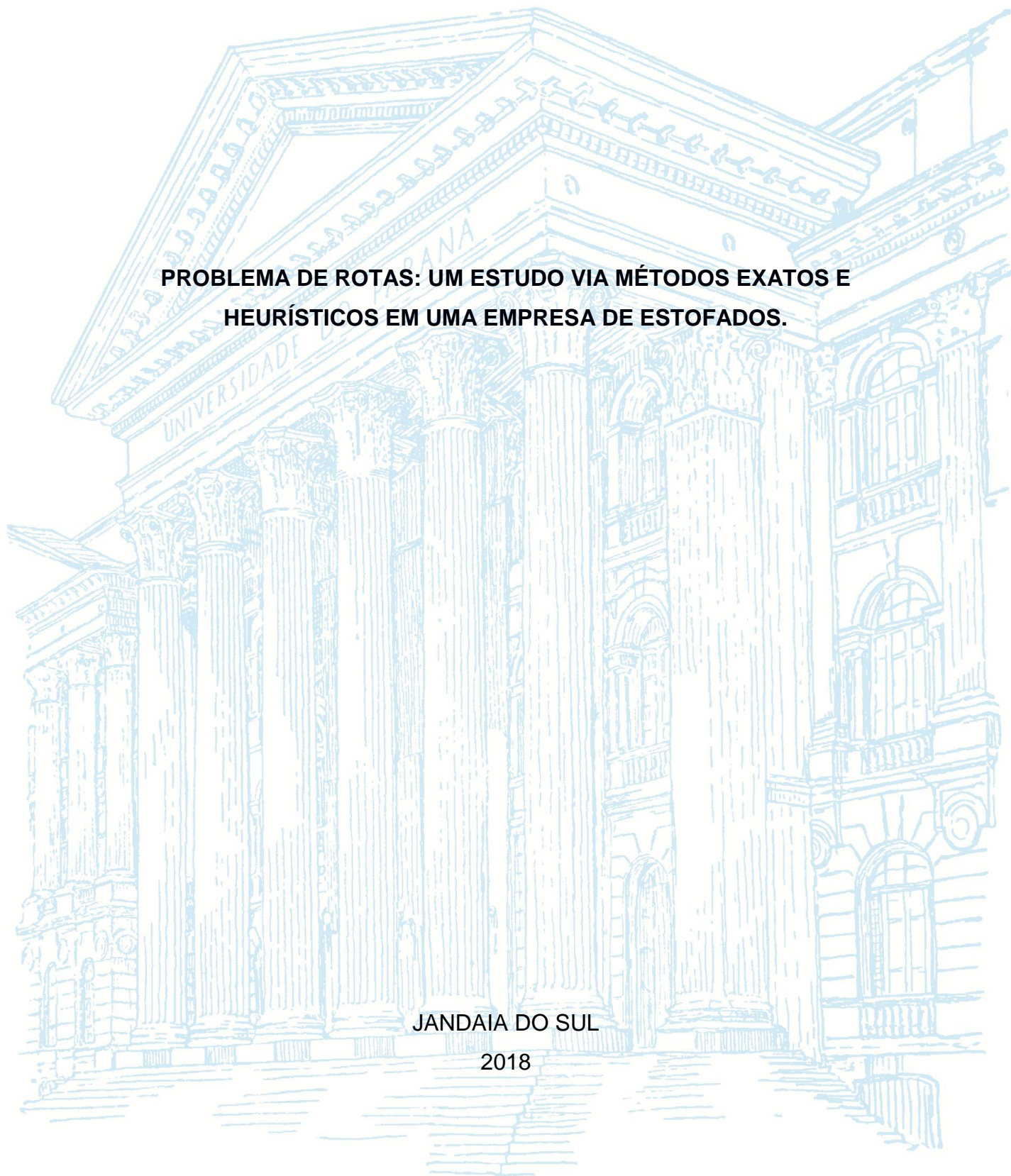
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

DANDARA DE ALMEIDA MACHADO

**PROBLEMA DE ROTAS: UM ESTUDO VIA MÉTODOS EXATOS E
HEURÍSTICOS EM UMA EMPRESA DE ESTOFADOS.**

JANDAIA DO SUL

2018



DANDARA DE ALMEIDA MACHADO

**PROBLEMA DE ROTAS: UM ESTUDO VIA MÉTODOS EXATOS E
HEURÍSTICOS EM UMA EMPRESA DE ESTOFADOS.**

Monografia apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Bacharel em Engenharia, no Curso de Graduação em Engenharia de Produção, da Universidade Federal do Paraná.

Orientadora: Profa. Dra. Juliana Verga Shirabayashi

JANDAIA DO SUL

2018

M149p Machado, Dandara de Almeida
Problema de rotas: um estudo via métodos exatos e heurísticos em uma empresa de estofados. / Dandara de Almeida Machado. – Jandaia do Sul, 2018.
69 f.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Juliana Verga Shirabayashi
Trabalho de Conclusão do Curso (Graduação) – Universidade Federal do Paraná. Campus Jandaia do Sul. Curso de Graduação em Engenharia de Produção.

1. Problema de rotas. 2. Métodos heurísticos. 3. Métodos exatos. II. Título. III. Universidade Federal do Paraná.

CDD: 658.5



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

PARECER Nº 001/2019/2019/UFPR/R/JA
PROCESSO Nº 23075.002081/2019-22
INTERESSADO: @INTERESSADOS_VIRGULA_ESPACO@

TERMO DE APROVAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Título: PROBLEMA DE ROTAS: UM ESTUDO VIA MÉTODOS EXATOS E HEURÍSTICOS EM UMA EMPRESA DE ESTOFADOS.

Autor(a): DANDARA DE ALMEIDA MACHADO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial para a obtenção do grau no curso de Engenharia de Produção, aprovado pela seguinte banca examinadora.

- Juliana Verga Shirabayashi
- Jair da Silva
- Marco Aurelio Reis dos Santos

Jandaia do Sul, 11 de dezembro de 2018.



Documento assinado eletronicamente por **MARCO AURELIO REIS DOS SANTOS, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 21/01/2019, às 10:55, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **JAIR DA SILVA, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 21/01/2019, às 14:53, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **JULIANA VERGA SHIRABAYASHI, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 21/01/2019, às 15:10, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



A autenticidade do documento pode ser conferida [aqui](#) informando o código verificador **1511491** e o código CRC **4A826E34**.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a todos que de alguma forma me ajudaram durante a minha graduação (não são poucos), apoiando, incentivando e contribuindo de alguma forma para o meu sucesso. A minha família que sempre estiveram presentes nos momentos mais difíceis dessa jornada. Em especial a minha mãe Maria Aparecida, que sempre acreditou que este dia chegaria e mesmo nos meus momentos mais difíceis, de maior fraqueza não deixou de me motivar a continuar.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por me guiar em toda minha jornada. A minha família pelo incentivo e apoio desde moral até financeiro e principalmente pela confiança depositada em mim em toda essa caminhada, que me fez ser mais forte e não desistir em momento algum. Aos amigos e colegas, que sempre permaneceram ao meu lado nos momentos em que mais precisei de ter apoio e companheirismo. Aos professores que me ajudaram adquirir conhecimento e sabedoria necessária para tornar esse sonho realidade, levarei para minha vida profissional todos os ensinamentos. Agradeço especialmente a minha orientadora Juliana pela paciência, puxões de orelha e dedicação durante a orientação deste trabalho. Agradeço a todos pelo apoio, ajuda e disponibilidade em colaborar de alguma maneira para a elaboração deste trabalho. Agradeço também a empresa em que realizei este estudo pela oportunidade e aos colaboradores pela compreensão, atenção, apoio e confiança.

Quando tudo parecer dar errado em sua vida, lembre-se que o avião decola
contra o vento, e não a favor dele. (Henry Ford)

RESUMO

A Pesquisa Operacional oferece aos gestores a oportunidade de tomar decisões mais eficientes, pois se baseia em métodos determinísticos e não determinísticos como a Programação Linear, Programação não linear, Programação Inteira e/ou Mista, através de bases científicas e modelos matemáticos. Nos últimos anos tem-se observado uma grande procura pela resolução de problemas de otimização relacionados à Pesquisa Operacional, e um deles é o problema do caminho mais curto, isto é, determinar a rota mais curta a ser percorrida em um determinado trajeto. Diante desse contexto, o presente estudo tem como objetivo a aplicação do problema de rotas em uma empresa de estofados localizada na região norte do Paraná, a fim de definir a rota que minimiza as distâncias a serem percorridas pelos caminhões que realizam as entregas dos produtos em diferentes regiões do Brasil. Para isso, foram utilizados métodos exatos, que encontram a melhor solução para um determinado problema e métodos heurísticos, que encontram soluções boas, mas não necessariamente ótimas. Os métodos exatos foram testados através do Solver do LibreOffice Calc bem como do software Cplex, já os métodos heurísticos foram testados através da linguagem de programação Julia. Os resultados obtidos para os dois diferentes métodos utilizados foram comparados com os resultados apresentados pela empresa e se mostraram satisfatórios, comprovando a eficiência e eficácia da utilização de técnicas de Pesquisa Operacional sobretudo em problemas reais.

Palavras-chave: 1. Problema de Rotas. 2. Métodos Heurísticos. 3. Métodos Exatos.

ABSTRACT

Operational research offers managers the opportunity to make more efficient decisions, as it relies on deterministic and non-deterministic methods such as linear programming, nonlinear programming, whole programming and/or mixed, through bases Scientific and mathematical models. In recent years there has been a great demand for solving optimization problems related to operational research, and one of them is the shortest path problem, that is, to determine the shortest route to be traveled on a given path. Given this context, the present study aims to apply the problem of routes in a upholstery company located in the northern region of Paraná, in order to define the route that minimizes the distances to be traveled by the trucks that carry out the deliveries of the products in different regions of Brazil. For this, exact methods were used, which find the best solution for a given problem and heuristic methods, which find good solutions, but not necessarily great. The exact methods were tested through the LibreOffice Cal Solver as well as the Cplex software, and the heuristic methods were tested through the Julia programming language. The results obtained for the two different methods used were compared with the results presented by the company and proved satisfactory, proving the efficiency and efficacy of the use of operational research techniques mainly in Real problems.

Keywords: 1. Route problem. 2. Heuristic methods. 3. Exact methods.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| FIGURA 1: GRAFO ORIENTADO..... | 21 |
| FIGURA 2: ESTRADA ENTRE SÃO PAULO E LONDRINA | 24 |
| FIGURA 3: FLUXOGRAMA DO FUNCIONAMENTO DE UM AG | 27 |
| FIGURA 4: FLUXOGRAMA DO FUNCIONAMENTO DE UM ACO..... | 30 |
| FIGURA 5: INTERFACE INICIAL DO JULIABOX | 32 |
| FIGURA 6: PASSOS PARA ATINGIR O OBJETIVO PROPOSTO | 35 |
| FIGURA 7: ROMANEIO A CARREGAR..... | 37 |
| FIGURA 8: PONTOS REFERENTES AO SETOR CAMPINAS..... | 38 |
| FIGURA 9: PONTOS REFERENTES AO ROMANEIO 325 | 40 |
| FIGURA 10: PONTOS REFERENTES AO SETOR CURITIBA..... | 42 |
| FIGURA 11: ROMANEIO 327 | 44 |
| FIGURA 12: PONTOS REFERENTES AO ROMANEIO 387 | 46 |
| FIGURA 13: PONTOS REFERENTES AO ROMANEIO 400 | 49 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| TABELA 1: ROMANEIO A CARREGAR 325..... | 40 |
| TABELA 2: MATRIZ DISTÂNCIA ROMANAIEO 325 | 41 |
| TABELA 3: ROMANEIO 327 | 43 |
| TABELA 4: MATRIZ DISTÂNCIA ROMANEIO 327 | 44 |
| TABELA 5: ROMANEIO 387 | 46 |
| TABELA 6: MATRIZ DISTÂNCIA DO ROMANEIO 387 | 47 |
| TABELA 7: CLIENTES SETOR MS | 48 |
| TABELA 8: ROMANEIO 400 | 49 |
| TABELA 9: MATRIZ DISTÂNCIA DO ROMANEIO 400 | 50 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|-----|--------------------------------------|
| ACO | - Otimização por Colônia de Formigas |
| AG | - Algoritmo Genético |
| AS | - <i>Simulated Annealing</i> |
| PCV | - Problema do Caixeiro Viajante |
| PV | - Problema do Vendedor |

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO | 16 |
| 1.1 JUSTIFICATIVA | 17 |
| 1.2 OBJETIVOS | 18 |
| 1.2.1 Objetivo geral | 18 |
| 1.2.2 Objetivos específicos..... | 18 |
| 1.3 ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO | 18 |
| 2 REVISÃO DE LITERATURA | 20 |
| 2.1 TEORIA DE GRAFOS | 20 |
| 2.2 PROBLEMA DE ROTAS | 21 |
| 2.2.1 Problema do Caixeiro Viajante (PVC) | 21 |
| 2.2.2 Problema do Vendedor (PV) | 23 |
| 2.3 MÉTODOS EXATOS..... | 24 |
| 2.3.1 <i>Branch and Bound</i> | 24 |
| 2.3.2 Algoritmo Simplex | 25 |
| 2.3.3 Planos de corte | 25 |
| 2.4 MÉTODOS HEURÍSTICOS..... | 26 |
| 2.4.1 Algoritmo Genético (AG) | 26 |
| 2.4.2 Otimização por Colônia de Formigas | 28 |
| 2.4.3 <i>Simulated Annealing</i> | 30 |
| 2.5 SOFTWARES COMPUTACIONAIS E LINGUAGEM DE PROGRAMAÇÃO UTILIZADOS | 31 |
| 2.5.1 Linguagem de programação Julia | 31 |
| 2.5.2 Libre Office | 32 |
| 2.5.3 Cplex | 33 |
| 3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS | 34 |
| 3.1 ENQUADRAMENTO DA PESQUISA..... | 34 |
| 3.2 FERRAMENTAS DE COLETA DE DADOS | 35 |
| 3.3 FERRAMENTA DE ANÁLISE..... | 36 |
| 3.4 DESCRIÇÃO DO CASO..... | 36 |
| 4 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS | 38 |
| 4.1 SETOR CAMPINAS | 38 |
| 4.1.1 Resultados via <i>software</i> Julia | 39 |

| | |
|---|-----------|
| 4.1.2 Resultados obtidos via Cplex | 39 |
| 4.1.3 Romaneio a Carregar 325 | 39 |
| 4.2 SETOR CURITIBA | 41 |
| 4.2.1 Resultados via <i>software</i> Julia | 42 |
| 4.2.2 Resultados obtidos via Cplex | 42 |
| 4.2.3 Romaneio a Carregar 327 | 43 |
| 4.3 SETOR SANTOS | 45 |
| 4.3.1 Resultados via Software Julia | 45 |
| 4.3.2 Resultados obtidos via Cplex | 45 |
| 4.3.3 Romaneio a Carregar 387 | 45 |
| 4.4 SETOR MATO GROSSO DO SUL..... | 47 |
| 4.4.1 Resultados via <i>Software</i> Julia | 48 |
| 4.4.2 4.4.2 Resultados obtidos via LibreOffice Calc | 49 |
| 4.4.3 4.4.3 Romaneio a Carregar 400 | 49 |
| 4.5 ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS | 50 |
| 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS | 52 |
| REFERÊNCIAS..... | 54 |

1 INTRODUÇÃO

Os custos de transportes de produtos estão diretamente ligados à distribuição de materiais entre os pontos de origem e destino. Os transportes podem ser realizados através de diversos modos e cada um desses recebe o nome de modal de transporte.

Dos diversos modais disponíveis destacam-se: rodoviário, ferroviários, aéreo, marítimo e fluvial, assim, as cargas podem ser transportadas conforme suas características e necessidades (MARTINELLI, 2012).

No Brasil o principal modal utilizado pelos sistemas logísticos é o transporte rodoviário, e os custos logísticos envolvidos nessa operação são consideravelmente elevados, assim impactando diretamente no cenário financeiro das empresas. Apesar disso, vale destacar que esses custos podem ser otimizados. Segundo pesquisas do Plano de Transporte e Logística da Confederação Nacional dos Transportes (CNT), publicada pelo Correio Braziliense, os custos com a logística nesse modal representam 11,6% do Produto Interno Bruto (PIB) (MARTINS, 2017).

Pensando nisso, as empresas estão à procura de técnicas que auxiliem na redução destes custos, como por exemplo o estudo de teorias relacionadas à problemas de rotas, onde visam minimizar os caminhos que seus caminhões percorreriam, resultando em menores custos com transporte e melhorando continuamente o tempo de entrega (BERTAGLIA, 2016).

Nesse contexto, essa busca torna-se fundamental para que sempre hajam métodos mais eficientes, que se aproximem da realidade das mesmas. Portanto, através de um estudo de Programação Linear (PL) e Programação Não Linear (PNL), que são exemplos de técnicas de otimização, é possível modelar diferentes problemas reais e entender o resultado e suas soluções (IGNÁCIO, 2004; PALM, 2013).

Não são todos os problemas de otimização que podem ser modelados como um Problema de Programação Linear (PPL), tem casos que os parâmetros ou restrições são não lineares, resultando então em um problema de Programação Não Linear (PPNL). Podemos ter também um problema de Programação Inteira, mista, entre outros.

Um dos problemas mais clássicos de logística na literatura, é o Problema do Caixeiro Viajante (PCV), onde um viajante sai de um ponto de partida em determinada cidade, e o mesmo deseja visitar as demais cidades listadas no seu trajeto uma única vez, e voltar à cidade origem, percorrendo o menor caminho possível. Com isso, o

PCV é um problema de otimização combinatória que é utilizado como base de testes para diferentes técnicas de resolução. Ele pertence à classe de problemas que apresentam duas características cruciais: a facilidade na formulação do problema e o alto nível de dificuldade na hora de resolvê-lo (RAMOS,2001).

Uma das variantes do PCV é o Problema do Vendedor (PV), sendo que a principal diferença entre eles é que, no PV não há necessidade de retorno à cidade de origem, ao contrário do PCV.

Vale ressaltar que o tanto o PCV quanto o PV são utilizados em diferentes situações práticas, como é o caso da determinação da melhor rota a ser percorrida em um determinado trajeto.

Diante disso, a ideia fundamental deste trabalho é propor soluções para o problema de rotas aplicado à problemática real de uma empresa de estofados localizada na região Norte do Paraná, e resolver a seguinte situação da empresa: Qual é a melhor rota para o caminhão percorrer na entrega dos produtos aos seus clientes?

1.1 JUSTIFICATIVA

A relevância acadêmica, foi uma das motivações para a realização deste trabalho, pois apresenta uma oportunidade notável de agregar os conhecimentos adquiridos na área de Pesquisa Operacional àqueles resultantes da área de logística.

A atividade de transporte, na maior parte das indústrias, representa um dos elementos mais importantes na composição do custo logístico. Em nações desenvolvidas, os fretes costumam consumir até 60% do gasto logístico total (RODRIGUES, 2007). Pensando na redução destes custos, sistemas que possibilitam maior eficiência no uso dos recursos, que diminuem as distâncias percorridas nas rotas, fazendo melhorias no nível de atendimento e melhorando a distribuição dos veículos disponíveis são demandados pelo mercado, exigindo profissionais capacitados para o seu projeto, implantação, operação e manutenção.

Toth e Vigo (2002), afirmam que ocorrem grandes economias ao utilizar procedimentos computadorizados no planejamento na hora de distribuir os veículos, diminuindo de 5% a 20% do custo total de transportes, sendo estes custos responsáveis por até 20% do preço do produto final. Por fim, outra justificativa para a utilização de sistemas de roteamento de veículos é o quanto ele reduz a poluição, ruído sonoro e consumo de recursos naturais que estas soluções podem resultar à

medida que diminuam o trajeto feito por estes veículos, aumentando também a vida útil dos mesmos.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Esta pesquisa tem como objetivo estudar o problema de rotas e propor soluções computacionais através de métodos exatos (quando possíveis de sua aplicação) e métodos heurísticos, por meio de um estudo de caso em uma empresa de estofados localizada na região Norte do Paraná, onde se deseja minimizar o custo gasto nas rotas percorridas pelos caminhões, e conseqüentemente, diminuir o tempo de entrega do produto até o cliente.

1.2.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos do trabalho são:

- a) Obter uma análise crítica dos diferentes métodos exatos e métodos heurísticos e a linguagem de programação *Julia*.
- b) Compreender o problema de rotas.
- c) Formular um modelo matemático para o problema.
- d) Obter análise e a validação dos testes computacionais através da utilização do pacote *TravelingSalesmanHeuristics* da linguagem de programação *Julia* bem como via métodos exatos a partir dos dados coletados.

1.3 ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO

Esta pesquisa está estruturada em cinco capítulos, conforme descrito a seguir.

Capítulo 1: Apresenta um contexto seguido da problemática de pesquisa, os objetivos e justificativa.

Capítulo 2: Expõem o referencial teórico, trazendo conceitos referentes à definição de teoria de grafos, problema do caixeiro viajante, problema do vendedor, métodos exatos e métodos heurísticos.

Capítulo 3: Mostra os processos metodológicos, iniciando com o enquadramento metodológico da pesquisa, seguido pelas definições de análise dos dados, métodos de coleta definidos e análise dos dados e, por fim, os passos a serem percorridos para alcançar os objetivos propostos.

Capítulo 4: Apresenta os resultados computacionais obtidos e suas análises.

Capítulo 5: Traz um resumo dos principais resultados encontrados seguido pelas limitações desta pesquisa e as considerações finais.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Este capítulo aborda de forma sucinta os conceitos e métodos utilizados na abordagem dos problemas estudados, estes possuem uma introdução teórica que se baseia na pesquisa e na literatura.

2.1 TEORIA DE GRAFOS

Um grafo, é formado por um conjunto de elementos $G = (N, E)$, onde os elementos são chamados “nós” ou vértices, e “E” um conjunto de pares de nós, onde os elementos (i, j) são chamados arestas ou arcos. Existem grafos que são orientados, no qual as arestas são pares ordenados. Um grafo orientado cujo os nós e/ou arestas têm valores associados é chamado de rede orientada (YANASSEE et al 2007; COSTA, 2011).

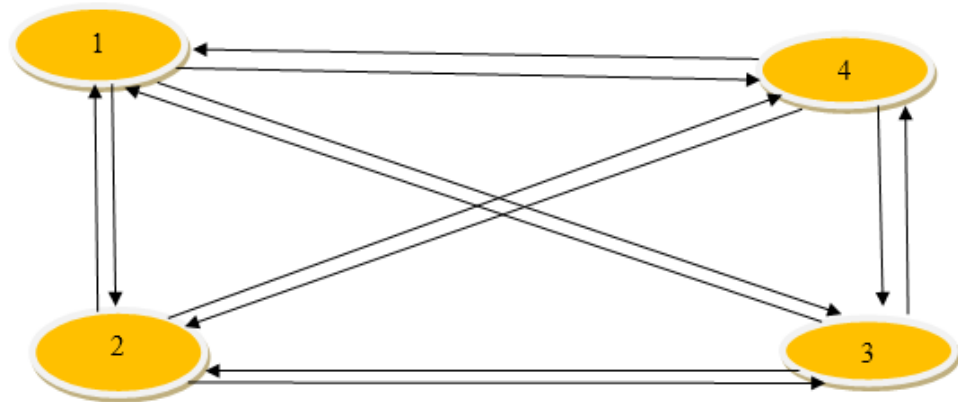
Para Costa (2011), um trajeto de um nó i_0 a um nó i_k é uma continuidade de arcos $C = \{(i_0, i_1), (i_1, i_2), (i_2, i_3), \dots, (i_{k-1}, i_k)\}$, em que o nó inicial é o final do arco anterior da sequência, e $i_0, i_1, i_2, i_3, \dots, i_k$, tais que os nós são distintos. Logo, todos os arcos em um trajeto estão direcionados do nó i_0 ao nó i_k .

Na teoria de grafos, segundo Yanassee et al (2007), uma cadeia é uma estrutura semelhante à de um caminho, fora pelo fato que os arcos não precisam estar coerentemente orientados, ou seja, esta é uma sequência de arcos de forma que cada arco tem o mesmo nó em comum com o arco anterior da sequência.

Um caminho fechado do nó i_0 a um nó i_k é chamado de circuito, onde $i_k = i_0$. Uma cadeia fechada onde um nó, inicial ou final, do primeiro arco da sequência é igual ao nó, inicial ou final, do último arco da sequência, chamamos de ciclo, que é o similar ao circuito dentro da cadeia.

O grafo finito não orientado ou orientado, é representado computacionalmente por sua: uma matriz cujo valor na linha i e coluna j fornecem o número de arestas do i -ésimo ao j -ésimo vértices (COSTA, 2011).

FIGURA 1: GRAFO ORIENTADO



FONTE: Autora (2018).

2.2 PROBLEMA DE ROTAS

Um dos problemas mais clássicos na literatura de rotas, é o Problema do Caixeiro Viajante, que por sua vez, deu origem a vários outros, como por exemplo o Problema do Vendedor. Nas subseções 2.2.1 e 2.2.2, foi realizada uma breve revisão dos problemas já mencionados.

2.2.1 Problema do Caixeiro Viajante (PVC)

O PCV resume-se em um determinado vendedor partindo de uma cidade inicial que deseja visitar demais cidades pré-estabelecidas uma única vez, e retornar à cidade de origem, percorrendo o menor caminho possível (RAMOS, 2001). O PCV é um problema de otimização combinatória que serve de plataforma de teste para diversos métodos de resolução. De acordo com Ramos (2001), tal problema representa uma classe muito ampla de outros problemas dessa natureza e possui duas características fundamentais: a simplicidade na formulação do problema e complexidade na resolução.

A modelagem do PCV está descrita em (1) - (5) (Carvalho, 2007):

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

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

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

$$\sum_{i \in S} \sum_{j \in S} x_{ij} \leq (S) - 1, i, j = 1, \dots, n \quad (4)$$

$$x_{ij} = \{0, 1\}, i, j = 1, \dots, n \quad (5)$$

A função objetivo (1) busca minimizar o somatório das distâncias entre as cidades da rota. As restrições (2) - (3) garantem que cada cidade $i \in N$ será visitada apenas uma vez. A restrição (4) garante que não haverá sub-rotas e a restrição (5) define x_{ij} como variável binária.

Essa modelagem geralmente está descrita em trabalhos que lidam com problemas de rotas e suas variantes, porém a restrição de eliminação de sub-rotas (restrição (4)), na prática, gera um número exponencial de restrições, sendo inviável sua utilização sobretudo quando o problema é resolvido de forma exata. A fim de contornar esse problema com tal restrição, RASMUSSEN (2011) propõe um conjunto de restrições em substituição à restrição (4). Vejamos:

Seja y_{ij} o fluxo do produto y ao longo do arco $(i, j) \in A$. As restrições de fluxo são:

$$\sum_{j=1}^n y_{ij} - \sum_{j=1}^n y_{ji} = 1, i=2, 3, \dots, n. \quad (6)$$

$$\sum_{j=1}^n y_{1j} = n - 1 \quad (7)$$

$$y_{1j} \geq 0 \quad (8)$$

$$(n - 1)x_{ij} - y_{ij} \geq 0 \quad (9)$$

Essas restrições garantem que os nós sejam visitados somente uma vez, já que o fluxo começa com $n - 1$ unidades, e diminui-se uma unidade para cada nó visitado, sendo que quando retorna ao nó de origem o fluxo será zero.

2.2.2 Problema do Vendedor (PV)

O PV é uma das variantes do PCV, em que um vendedor deve percorrer o menor trajeto possível, a fim de minimizar seu custo, como por exemplo o custo com combustível, tempo de viagem, distância dentre outras coisas, e visitando cada cidade ao menos uma vez, e no fim voltando ou não para a cidade inicial. Assim como o PCV, este problema pode ser modelado através da teoria de grafos.

A diferença entre o PV com o do PCV, é que o PV não precisa obrigatoriamente retornar à cidade de origem e o PCV deve voltar a sua origem.

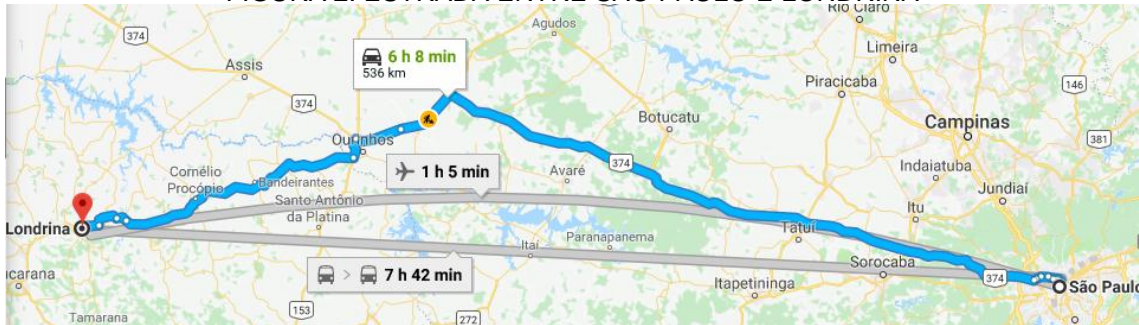
Quando o PV é modelado para um problema real ele se torna mais complexo, pois aumentam as restrições e os fatores que vão ser decisivos na hora de calcular o melhor caminho.

Suponha que um vendedor de roupa precisa ir da cidade de São Paulo até Londrina para visitar um determinado cliente. Ele deverá ir de carro, pelas estradas principais para visitar outros clientes ao longo do trajeto. O mesmo terá uma média de quanto ganhará de comissão por cada cliente pelo caminho. O problema é: qual rota o vendedor irá lucrar mais?

Para solucionar o problema é preciso construir um grafo cujo os nós correspondem às junções das estradas principais e os arcos correspondem às estradas que ligam os respectivos nós, onde o comprimento de cada arco no grafo será igual ao custo líquido estimado naquele trecho de estrada correspondente. O custo líquido é estimado através de quanto o vendedor gastará com despesas na estrada, como por exemplo, pedágios, gasolina, manutenção entres outros, menos a comissão esperada no trecho em questão (YANASSE et al, 2007).

O melhor caminho para o vendedor percorrer, será o menor caminho no grafo do nó que representa a junção da estrada em São Paulo até o nó que representa a junção da estrada em Londrina.

FIGURA 2: ESTRADA ENTRE SÃO PAULO E LONDRINA



Fonte: Google Maps.

2.3 MÉTODOS EXATOS

Os métodos exatos tem por objetivo encontrar a melhor solução para o problema a ser estudado. A seguir, apresentamos um breve estudo de alguns métodos exatos conhecidos da literatura, como: *Branch and Bound*, Algoritmo Simplex e Planos de corte.

2.3.1 *Branch and Bound*

O método *Branch and Bound* baseia-se na ideia de desenvolver uma enumeração inteligente das soluções candidatas à solução ótima inteira de um problema.

Tal método (*branch* significa ramo e *bound* significa limite) é um método exato para resolução de problemas de programação inteira e/ou mista. Foi proposto em 1960 (BELFIORE & FÁVERO, 2013), sendo um método de divisão e conquista, em que o problema original é dividido ou ramificado em subproblemas. Resolve-se os subproblemas, sendo que estes geram limites superiores (para problemas de maximização) ou inferiores (para problemas de minimização) sobre o valor da função objetivo. As soluções dos subproblemas são combinadas até que se obtenha a solução ótima do problema original.

Para resolver o PCV via métodos exatos, geralmente utiliza-se o método *Branch and Bound*, para os quais têm sido propostas diferentes funções limitadoras (CUNHA et al., 2002).

Conforme dito anteriormente, os métodos exatos têm aplicação limitada para a solução do PCV e suas variantes, tendo em vista a complexidade combinatória deste problemas, mas para problemas de dimensões pequenas, tal método é eficiente e encontra a solução ótima em frações de segundo.

2.3.2 Algoritmo Simplex

Segundo Alves (2016), o algoritmo Simplex se destaca como uma das grandes referências na Programação Matemática. Refere-se em um algoritmo bastante eficiente para resolver um PPL, já encontra-se disponível em vários softwares gratuitos, e a partir dele foram desenvolvidos vários outros métodos.

O Simplex é um algoritmo que faz o uso de um ferramental baseado em Álgebra Linear, a fim de estabelecer um método iterativo que resulta em uma solução ótima para um Problema de Programação Linear (PPL), caso exista. Sua formulação básica é simples e, por isso mesmo, eficiente. Em geral, o algoritmo parte de uma solução viável, solução essa normalmente extrema (vértice). Com base nessa solução inicial, identifica-se novas soluções viáveis na qual o valor da função objetivo nesta solução é igual ou maior que a atual. Portanto, o algoritmo conta com um critério de escolha que possibilita encontrar sempre novas e melhores soluções do conjunto de soluções viáveis, e consegue determinar se a solução escolhida é ou não uma solução ótima, utilizando um outro critério (ANDRADE, 2015).

2.3.3 Planos de corte

Os procedimentos denominados métodos de plano de corte, são técnicas utilizadas para resolver problemas de Programação Linear Inteira (PLI), no qual a função objetivo é iterativamente refinada por inequações lineares, chamadas cortes. O uso de planos de corte para resolver PLI foi introduzido por Ralph Gomory (BERNARDES, 2018).

Segundo Hiller, F. e Lieberman (2006), um plano de corte, cria uma nova restrição funcional que reduz a região e soluções viáveis para o relaxamento do PPL, sem eliminar nenhuma solução viável para o Problema de Programação Inteira (PPI). Há uma série de técnicas para criar planos de corte que tendem acelerar a velocidade para um algoritmo de ramificação (Branch-and-cut) e avaliação progressiva e

encontrar uma solução ótima para um problema de Programação Inteira Binária (PIB). Quando combinado o critério de planos de corte com estas técnicas gera-se uma poderosa metodologia algorítmica para solucionar problemas de PIB de grande escala.

2.4 MÉTODOS HEURÍSTICOS

Métodos heurísticos são algoritmos exploratórios que buscam resolver problemas. Não há garantias de que a solução encontrada através dos mesmos é a ótima, mas proporcionam boa aproximação para problemas reais e com maior agilidade do que os métodos exatos quando lidamos com problemas de dimensões maiores (SUCUPIRA, 2004).

Geralmente estes métodos tem um bom desempenho quando são aplicados em problemas NP-difíceis, que são problemas que possuem dificuldade em resolver em tempo polinomial, como por exemplo o PCV, PV que são problemas onde não se conhece métodos exatos eficientes para resolve-los quando lidamos com problemas de dimensões grandes (PAPADIMITRIOU e STEIGLITZ, 1998).

Dentre os métodos heurísticos existem técnicas genéricas conhecidas como meta-heurísticas. Embora não exista uma só definição para meta-heurísticas devido a sua diversidade de técnicas e conceitos utilizados, segundo Dorigo (1999), uma meta-heurística, resume-se em uma estrutura algorítmica genérica para se aplicar a diversos problemas de otimização, e com pequenas modificações nesta estrutura é possível utilizá-la a um problema específico. Há diversas meta-heurísticas na literatura, como por exemplo: *simulated annealing*, Busca Tabu, Busca Local Iterada, Algoritmos Evolutivos, Otimização por Colônia de Formigas, dentre outras.

Estudamos três destas meta-heurísticas: algoritmos genéticos (algoritmos evolutivos), otimização por colônia de formigas e o *simulated annealing*.

2.4.1 Algoritmo Genético (AG)

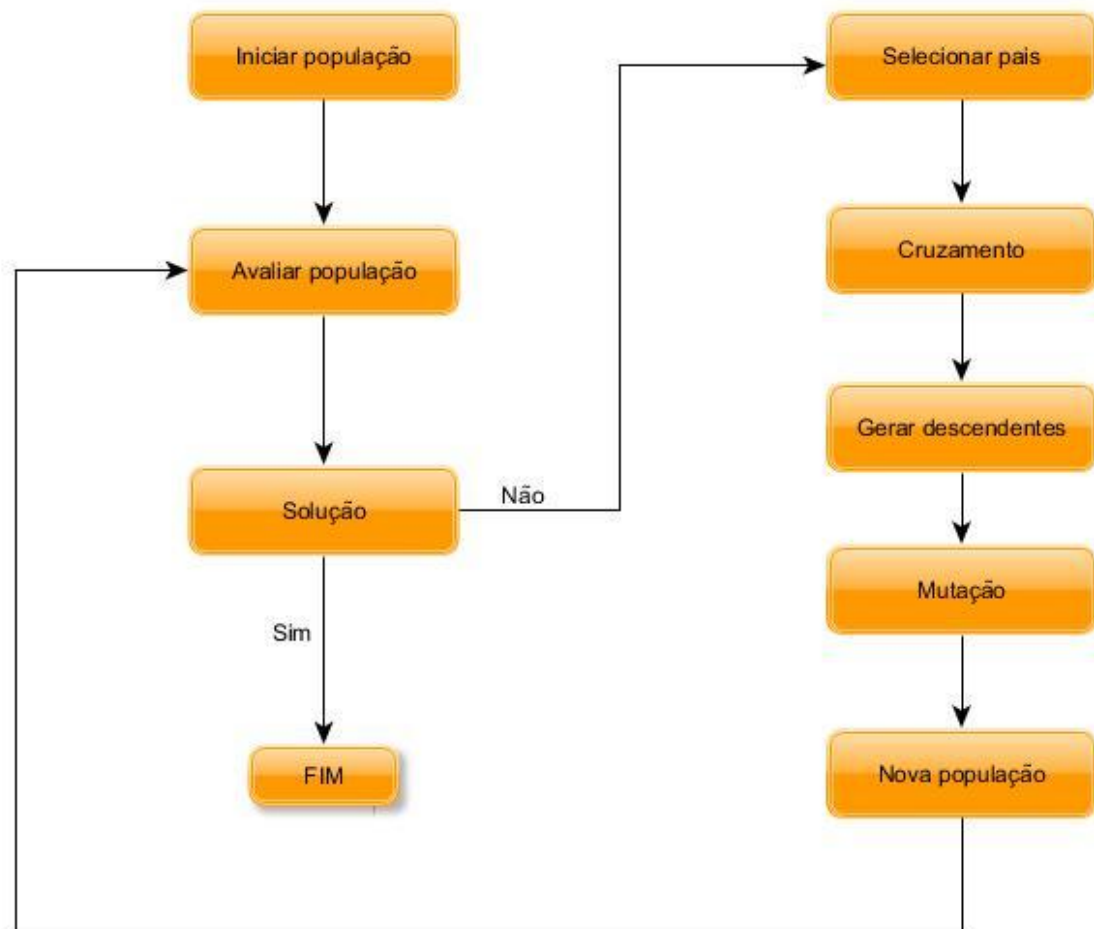
Os AGs, são algoritmos probabilísticos de busca e otimização que tem como base os conceitos da evolução natural e genética natural, eles funcionam de forma equivalente à teoria da seleção natural, pois usam o mesmo princípio, onde os melhores indivíduos sobrevivem, e geram descendentes que levam suas

características, portanto tendem a ter o mesmo fenótipo de seus ancestrais (CARVALHO, 2007).

Os AGs visam soluções sub-ótimas, desde a criação de uma população de indivíduos mais capacitados, resultando na otimização da função objetivo. Para criar essa população, o AG, por meio de configurações iniciais reproduz indivíduos aleatoriamente, com isso é realizada uma avaliação de cada indivíduo, selecionando os mais aptos, e por mutação ou cruzamento, que são os operadores genéticos do algoritmo, cria-se as novas gerações de indivíduos. Cada indivíduo da população representa uma possível solução para o problema (RAMOS, 2001).

O AG cria uma solução candidata, ela emprega uma estrutura similar com a de um cromossomo, e aplica os operadores genéticos a essa estrutura para guardar informações importantes para a solução do problema (SIMON, 2013). A Figura 2 ilustra o funcionamento de um AG.

FIGURA 3: FLUXOGRAMA DO FUNCIONAMENTO DE UM AG



Fonte: Autora (2018).

2.4.2 Otimização por Colônia de Formigas

Otimização por Colônia de Formigas (*Ant Colony Optimization* - ACO) é um método inspirado no comportamento de formigas na busca por alimentos. Sempre que uma formiga precisa decidir para onde ir, ela usa informação proveniente de feromônio depositado previamente por outras formigas que já passaram por determinado local. A direção escolhida é aquela que tiver a maior quantidade de feromônio. Através desse processo de busca, as formigas são capazes de encontrar o menor caminho do seu ninho até uma fonte de alimento (CARVALHO, 2007; DORIGO & CARO, 1999). O feromônio é uma substância que evapora com o tempo, então quanto maior é a concentração de formigas passando pelo mesmo lugar, mais atrativo ele se torna para as próximas formigas.

Apresenta-se o funcionamento do ACO proposto por (DORIGO & GAMBARDELLA, 1997). No ACO duas tarefas são principais:

A representação do problema de uma forma versátil, em geral uma estrutura na forma de grafo, que permita uma regra probabilística de transição entre os nós, baseada nos feromônios e no valor de cada arco;

Uma heurística para transição de nós que avalie a qualidade dos caminhos percorridos.

Para cada arco $(i, j) \in A$ do grafo, é definida uma variável τ_{ij} , conhecida como trilha artificial de feromônio e inicialmente este é igual para todos os arcos da rede. Cada formiga k constrói uma solução a partir de um dos nós do grafo de forma aleatória.

A cada nó, a formiga artificial executa uma função probabilística e constrói seu caminho movendo-se através de uma sequência de locais vizinhos, selecionados segundo a função descrita na Equação (10).

$$p_{ij}^k = \frac{\tau_{ij}^\alpha \cdot \eta_{ij}^\beta}{\sum_{j \in J_i^k} \tau_{ij}^\alpha \cdot \eta_{ij}^\beta} \quad (10)$$

Sendo, ρ_{ij}^k é a probabilidade da formiga k , que se encontra na cidade i , escolher o nó j como próximo nó a ser visitado; τ_{ij} é a quantidade de feromônio existente no arco (i, j) . Inicialmente, adota-se um mesmo valor para todos os arcos da rede; η_{ij} é a atratividade do arco (i, j) . No PCV, adota-se $1/d_{ij}$ (inverso do valor da distância entre os nós i e j); J_i^k é o conjunto de pontos ainda não visitados pela formiga k , que se encontra atualmente no nó i ; α é o parâmetro que pondera a importância relativa da trilha de feromônio na decisão de movimentação da formiga; β é o valor heurísticamente escolhido, que pondera a influência relativa da distância η_{ij} entre os nós i e j no processo de decisão.

A Equação (10) mostra que a preferência da formiga por um determinado caminho é maior para os caminhos com maior nível de feromônio e com menor distância. A atualização do feromônio é realizada local e globalmente. Na atualização local, feita através da Equação (11), deseja-se evitar um arco que está sendo escolhido por todas as formigas. Esse processo aumenta o poder de exploração das formigas.

$$\tau_{ij} = (1 - \rho)\tau_{ij} + \rho\tau_0, \tau_0 = (n \cdot L_{nn}^{-1}) \quad (11)$$

sendo n o número de nós do grafo, L_{nn} é um valor heurístico do menor caminho encontrado por uma formiga e ρ é um parâmetro que determina a velocidade de evaporação do feromônio.

Na atualização global, feita através da Equação (12), deseja-se recompensar os arcos que pertencem a rotas mais curtas, adicionando-se uma quantidade de feromônio inversamente proporcional ao tamanho da rota obtida (quanto mais curta a rota, maior será a quantidade de feromônio depositada).

$$\tau_{ij} = (1 - \rho)\tau_{ij} + \rho\Delta\tau_{ij}, \rho \in [0,1] \quad (12)$$

onde,

$$\Delta\tau_{ij} = \frac{1}{L^k} \text{ se } (i, j) \text{ é usado.} \quad (13)$$

O primeiro termo das Equações (11) e (12) é responsável pela evaporação do feromônio. O parâmetro é utilizado para que os caminhos menos utilizados sejam

esquecidos com o passar do tempo. O segundo termo da Equação (12) é responsável por aumentar a concentração de feromônio na menor rota. Tal procedimento se repete até que um número máximo de iterações tenha sido alcançado ou não aconteçam melhorias nas soluções encontradas. Na Figura 3, apresenta-se um fluxograma que ilustra o funcionamento de um ACO.

FIGURA 4: FLUXOGRAMA DO FUNCIONAMENTO DE UM ACO



FONTE: Autora 2018.

2.4.3 Simulated Annealing

O *Simulated Annealing* (SA) é uma meta-heurística que, assim como o ACO, foi inspirada na natureza e é um método populacional. O SA, que quando traduzido significa Recozimento Simulado, utiliza critérios probabilísticos que permitem buscar por soluções de pior qualidade, com o intuito de evitar mínimos locais. Isso ocorre

baseando-se no processo físico de recozimento (*annealing*) e a probabilidade de aceitar essas soluções ruins vai decrescendo durante a busca (LOPES, 2013).

Esta meta-heurística é utilizada como refinamento da trajetória de um caminho já construído, ou seja, para realizar a melhoria do caminho. A construção deste caminho pode ser realizada pela estratégia de inserção mais distante conhecida como *Farthest Insertion* que foi proposta por Johnson e McGeoch (2007).

Essa heurística resume-se em iniciar a primeira rota com a cidade mais longe da cidade de origem, a próxima cidade escolhida que vai ser adicionada a rota é aquela que estiver mais distante dos nós da rota atual. Essa cidade é então adicionada a rota de maneira que cause o mínimo de impacto no seu custo total. E esse processo ocorre respeitando as restrições do problema (MOREIRA, 2018).

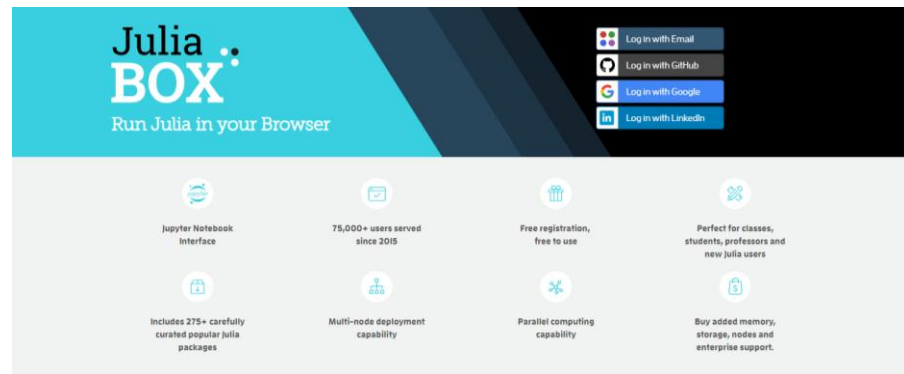
2.5 SOFTWARES COMPUTACIONAIS E LINGUAGEM DE PROGRAMAÇÃO UTILIZADOS

Nesta seção, apresentamos as ferramentas computacionais utilizadas neste trabalho.

2.5.1 Linguagem de programação Julia

A linguagem de programação Julia, consiste em um software livre que foi projetado para alto desempenho na computação científica e numérica. Teve início no MIT (Instituto de Tecnologia de *Massachusetts*) em agosto de 2009 e, por isso pode ser considerada uma linguagem nova. Em fevereiro de 2012, tornou-se um *open source* (software de código aberto), sendo este o resultado do trabalho de quatro pesquisadores: Stefan Karpinski, Jeff Bezanson, Alan Edelman e Viral Shah (BEZANSON et al. 2015). Esta *open source* foi pensada para ser uma linguagem de computação científica bastante rápida, assim como as linguagens Fortran e C, com a facilidade de aprender como no *Matlab* e no *Mathematica*, desta forma, simplificando a modelagem computacional. Importante destacar que ela possui linguagem própria, mas foi programada em C, C++ e *Scheme*.

FIGURA 5: INTERFACE INICIAL DO JULIABOX



FONTE: Retirado do site www.juliabox.com (2018).

Este pacote emprega diferentes heurísticas para a resolução do problema, dentre elas: SA e *Farthest Insertion*, e as mesmas foram utilizadas para realizar os testes computacionais no Julia através do *TravelingSalesmanHeuristics* e com os dados apresentados nas seções 4.1, 4.2, 4.3 e 4.4. Na linguagem Julia, existem vários pacotes embutidos para resolver diversos tipos de problemas, dentre eles, o *TravelingSalesmanHeuristics*, no qual a tradução tem por significado Heurística do Vendedor Ambulante e pode ser utilizado para resolver o Problema de Rotas estudado.

2.5.2 Libre Office

O LibreOffice é um software livre que possui várias ferramentas para escritório, o mesmo contém planilha eletrônica, criador de banco de dados, processador de textos, criador de fórmulas matemáticas, dentre outros. Este software é o segundo mais utilizado no Brasil, sendo que empresas importantes como Itaipu, Banco do Brasil, Receita Federal, dentre outras fazem uso do mesmo (KLAIBSON, 2016).

Ainda segundo Klaibson (2016), uma das ferramentas que o software possui é o LibreOffice Calc, e através dele é possível editar planilhas eletrônicas muito semelhantes ao Excel, e resolver problemas como o estudado neste trabalho, através da função solver. Este solver, soluciona o problema de forma exata utilizando a junção das teorias: *Branch and Bound* e Algoritmo Simplex.

2.5.3 Cplex

O Cplex é um software comercial pago, que oferece serviço de otimização altamente efetiva e tem como objetivo resolver modelos que possuem restrições lineares ou quadráticas, funções objetivos lineares, variáveis contínuas ou inteiras. Tem como principal vantagem a escalabilidade, que é a capacidade de um sistema de suportar um aumento substancial de carga sem que o seu desempenho piore ao ponto de pôr em causa a sua utilização, pois possui vários nós de processador, um nó de processador é um servidor encarregado de executar trabalhos de otimização (ZHANG, 2012).

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Metodologia para Prado (2004), define-se como um conjunto de métodos, ferramentas e técnicas que são utilizadas para obter um determinado objetivo delineando o que e como realizar cada etapa da pesquisa.

3.1 ENQUADRAMENTO DA PESQUISA

De acordo com Gil (2009), a pesquisa pode ser classificada em pesquisa básica ou pesquisa aplicada, sendo que a última se caracteriza por gerar conhecimentos aplicáveis para solucionar e/ou propor melhorias em problemas práticos. Sendo assim, este estudo caracteriza-se como sendo uma pesquisa aplicada, pois é necessário conhecer como se dá o processo de rotas para as entregas dos estofados, e utilizar métodos exatos e heurísticos a fim de propor melhorias para a redução das distâncias percorridas nas rotas e conseqüentemente reduzir os custos da empresa referentes a entrega de mercadorias.

Do ponto de vista da abordagem, as pesquisas podem ser denominadas em quantitativas ou qualitativas. Na pesquisa qualitativa há um vínculo indeterminado entre o mundo objetivo e a imaterialidade do sujeito que não pode ser transformados em números (GIL, 2009). Já na pesquisa quantitativa tudo pode ser quantificável, ou seja, pode ser transformados em números e informações com intuito de classifica-las e analisá-las sob algum aspecto (SILVA e MENEZES, 2005).

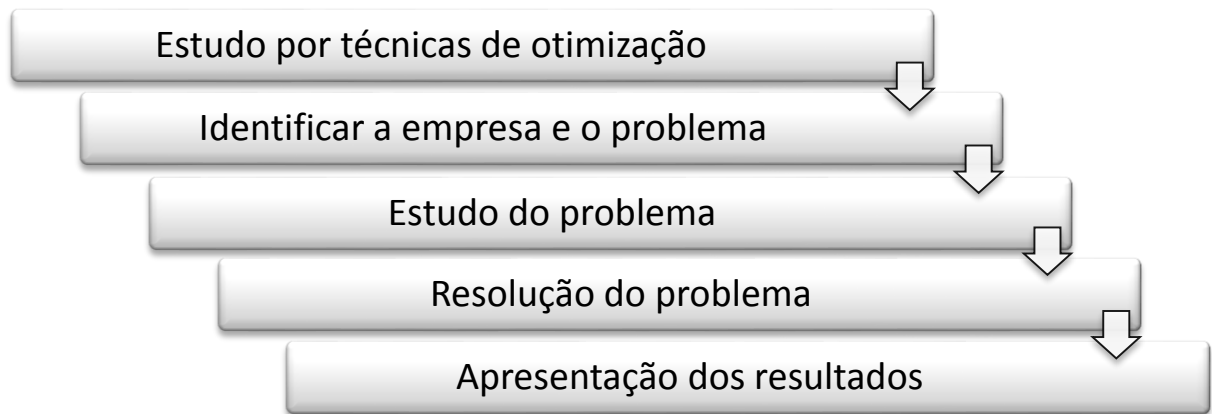
Este estudo é classificado como pesquisa quantitativa, pois tem por objetivo a redução das distâncias percorridas, dados quantitativos, em diferentes rotas realizadas para entrega de estofados (MIGUEL et al., 2012).

Além disso, a metodologia pode ser classificada como modelagem e simulação, tendo como base a definição dos passos de Hillier e Lieberman (2006) para a elaboração do estudo de um problema de PO, mostrado a seguir:

1. Definir o problema de interesse;
2. Formular de um modelo matemático para representar o problema;
3. Desenvolver um procedimento computacional a fim de derivar Soluções para o problema a partir do modelo;
4. Testar o modelo e aprimorar conforme necessário.

Na Figura 6 são ilustrados os passos necessários adaptados, para atingir o objetivo proposto por este trabalho:

FIGURA 6: PASSOS PARA ATINGIR O OBJETIVO PROPOSTO



FONTE: Autora (2018).

No primeiro passo é feito uma busca na literatura por técnicas de otimização em base de dados por teorias relacionadas ao problema estudado. Após isso buscou-se dados reais de uma empresa e identificou-se o problema, assim realizando o estudo do mesmo, e resolvendo-o através dos *softwares* computacionais, por fim é feita a apresentação e análise dos resultados.

3.2 FERRAMENTAS DE COLETA DE DADOS

O levantamento dos dados foi realizado por meio de uma coleta de documentos denominados Romaneio a Carregar já existentes na empresa com as informações necessárias para a realização dos testes da pesquisa, além de entrevistas informais com os motoristas dos caminhões e com o responsável por montar estes documentos. Os dados coletados são endereços dos clientes que a empresa atende, tais dados não são coordenadas, por isso se faz necessário transformar as cidades pertencentes a rota que o caminhão irá percorrer em latitude e longitude. Por meio das equações (1), (2) e (3), os endereços foram transformados em uma matriz distância, cujas informações foram obtidas em metros, após a obtenção das latitudes e longitudes, ou seja, primeiramente foram encontradas um

par ordenado cujas informações são latitudes e longitudes para cada endereço e posteriormente foi gerada a matriz distância em metros (ALVES, 2015).

$$i = (LAT_i, LONG_i) \quad (1)$$

$$c_{ij} = 6731 \cdot \arccos(z_{ij}) \quad (2)$$

$$z_{ij} = \frac{\cos((90-LAT_i) \cdot \pi)}{180} \cdot \frac{\cos((90-LAT_j) \cdot \pi)}{180} + \frac{\text{sem}((90-LAT_i) \cdot \pi)}{180} \cdot \frac{\text{sen}((90-LAT_j) \cdot \pi)}{180} \cdot \frac{\text{sen}((LAT_i-LAT_j) \cdot \pi)}{180} \quad (3)$$

3.3 FERRAMENTA DE ANÁLISE

As ferramentas utilizadas para análise em estudo foram: a linguagem de programação Julia, o solver do LibreOffice Calc e o *software* Cplex. A partir da matriz de latitude e longitude, deu-se as matrizes distância que foram utilizadas como variável de entrada para as ferramentas citadas, para assim obter os resultados a realização dos objetivos.

3.4 DESCRIÇÃO DO CASO

Neste trabalho, foi realizado um estudo do problema de roteirização de uma empresa de estofados, que está localizada no distrito de Pirapó-PR, pertencente à cidade de Apucarana-PR. Tal empresa trabalha com diversos tipos de estofados, como poltronas, puffs, sofás e sofás cama, e tem como missão a satisfação do consumidor, por isso desenvolvem produtos com *design* diferenciado e de qualidade. Ela possui em média 97 colaboradores, e é dividida em 11 setores: laminação, marcenaria, montagem da estrutura, colagem, tapeçaria, corte, costura, almofada, montagem final, embalagem e expedição. No setor da expedição é realizado o carregamento dos produtos para um dos quatro caminhões que a empresa possui e três destes têm capacidade para alocar entre 50 a 60 peças de estofados, e o outro apenas 30. Esta alocação é realizada com base no Romaneio a Carregar, que nada mais é, que um documento com os clientes e seus respectivos pedidos como mostrado na (Figura 7), onde o primeiro cliente do romaneio será o último pedido a ser entregue, com isso ele terá que ser o primeiro a ser carregado no caminhão.

FIGURA 7: ROMANEIO A CARREGAR

| ROMANEIO A CARREGAR-18/06/18-EDRIANO OP: 742 | | | | |
|---|--|-----------|----------|-------|
| PZA MOVEIS LTDA Qtde Peças: 3,00 Cidade: CAMPO MOURÃO | | | | |
| Qtde | Produto | Nº Pedido | Crp | Peças |
| 1 | PIETRO 3 LUG (1,00) | 1568 | 22.190 | 3 |
| CARLOS HENRIQUE ROSA Qtde Peças: 4,00 Cidade: TOLEDO | | | | |
| Qtde | Produto | Nº Pedido | Crp | Peças |
| 1 | CAYMAN 2 LUG (1,00) | 1571 | EURO 02 | 2 |
| 1 | PIETRO 2 LUG (1,00) | 1571 | EURO 03 | 2 |
| MAURICIO JOSE FRANCO Qtde Peças: 2,00 Cidade: MARIA HELENA | | | | |
| Qtde | Produto | Nº Pedido | Crp | Peças |
| 1 | PIETRO 3 LUG (0,80) | 4169 | S - 3100 | 2 |
| F C OKADA MÓVEIS ME Qtde Peças: 18,00 Cidade: UMUARAMA | | | | |
| Qtde | Produto | Nº Pedido | Crp | Peças |
| 1 | ATHOS 2 LUG (1,10) | 1537 | 22.175 | 2 |
| 1 | ATHOS 2 LUG (80) | 1573 | S. 2400 | 1 |
| 1 | ATHOS 3 LUG (1,10) | 1560 | | 3 |
| | BRAÇO 0,30 - FAZER C/ BRAÇO DO SOFÁ ENCANTUS - COR 6008 | | | |
| 1 | ERON 2 LUG (1,00) | 1522 | | 2 |
| | COURO MARRON - COM PRESPONTO LINHA BÉGE-(FOLHA SEPARADA) | | | |
| 1 | ERON 2 LUG (1,00) | 1537 | EURO 01 | 2 |
| | BRAÇO 0,30 CM | | | |
| 1 | PAOLO 2 LUG (1,20) | 1545 | 6006 | 2 |
| 1 | POLTRONA CHANDON (1,00) | 978 | S - 6700 | 1 |
| | TROCA- BASE AMENDOIA | | | |
| 2 | POLTRONA DIANA | 1537 | 22.205 | 2 |
| | BASE AMENDOIA | | | |
| 2 | POLTRONA DIANA | 1550 | 22.205 | 2 |
| | PÉS AMENDOIA | | | |
| 2 | POLTRONA MANDALA | 1537 | 22.190 | 2 |
| | BASE AMENDOIA | | | |
| TOP MOVEIS E DECORAÇÕES LTDA Qtde Peças: 2,00 Cidade: UMUARAMA | | | | |
| Qtde | Produto | Nº Pedido | Crp | Peças |
| 1 | PIETRO 2 LUG (0,90) | 1563 | 22.180 | 1 |
| | BRAÇO 0,20 | | | |
| 1 | POLTRONA ÓPERA | 1563 | 22.255 | 1 |
| | BASE GIRATÓRIA | | | |
| MARIANI CASSIELI BORSATTO Qtde Peças: 2,00 Cidade: CRUZEIRO DO OESTE | | | | |
| Qtde | Produto | Nº Pedido | Crp | Peças |
| 2 | POLTRONA CHANDON (0,70) | 998 | S- 6800 | 2 |
| | BASE AMENDOIA- (TROCA) | | | |
| Quantidade Total: | | | | 32,00 |

FONTE: Autora (2018).

O romaneio é construído da seguinte maneira: o pedido chega via e-mail, é realizado a impressão do mesmo, conferência de preço, digitado para um sistema, organizado de acordo com a rota escolhida por um colaborador de forma manual, por fim, realiza-se a impressão do romaneio e ocorre a entrega ao responsável do setor de expedição.

O problema de roteirização ocorre na etapa onde o colaborador constrói a rota, sem o uso de nenhuma ferramenta de apoio, apenas olhando mapas desatualizados ou histórico das entregas. Pensando nisso, foi realizado uma coleta de romaneios já utilizados pela empresa para descobrir os clientes que são atendidos e quais regiões o caminhão costuma percorrer para realizar estas entregas. Portanto, o objetivo é desempenhar a melhor rota concentrando os endereços mais próximos formando blocos pré ordenados e assim facilitando o desempenho da roteirização do romaneio.

4 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Neste capítulo apresentamos os resultados computacionais para o problema de roteirização, que foi descrita detalhadamente no Capítulo 3.

Nas subseções 4.1, 4.2, 4.3 e 4.4 apresentamos os resultados computacionais para quatro blocos de endereços de diferentes regiões do Brasil bem como alguns roteamentos menores que são compostos por subconjuntos dos blocos. Os testes via métodos heurísticos foram realizados a partir da linguagem de programação Julia, versão 0.6 no sistema operacional Linux em uma plataforma core I3, 6Gb de memória RAM. Os testes via métodos exatos foram realizados no softwares LibreOffice Calc e Cplex em uma plataforma core I5, 4Gb de memória RAM e sistema operacional Windows 7. O Cplex foi executado na plataforma GAMS, versão 23.5.2.

4.1 SETOR CAMPINAS

Este setor é composto por vinte e quatro cidades da região de Campinas-SP, Americana, Jundiaí, Piracicaba, Iracemápolis, Limeira, Itatiba, Leme, Itapira, Rio Claro, Sorocaba, Cerquilha, Santa Bárbara D'Oeste, Indaiatuba, Itu, Socorro, Campinas, Sumaré, Tietê, Jaguariúna, Araras, Limeira, Paulínia, Cajamar e Santana de Parnaíba. Esse conjunto de cidades resulta em oitenta e cinco clientes descritos no Apêndice 1. Os endereços foram transformados em uma matriz distância de dimensões 86x86 apresentada. Na Figura 8, apresenta-se em forma de pontos plotados no plano cartesiano os endereços que compõem o Setor Campinas. Vale destacar que a escala utilizada é latitude x longitude dos pontos. Tal figura foi construída na linguagem de programação Julia.

FIGURA 8: PONTOS REFERENTES AO SETOR CAMPINAS



FONTE: Autora (2018).

4.1.1 Resultados via *software* Julia

Utilizando os métodos heurísticos através do pacote *travelingsallesmanheuristics* da linguagem Julia, foi obtido o caminho: 1-77-78-79-2-71-73-68-65-72-66-70-67-6-57-62-56-9-60-20-76-74-7-51-52-69-5-58-81-80-28-29-15-11-45-85-63-12-17-10-55-18-13-19-14-41-22-23-61-44-43-26-36-59-54-39-40-37-34-25-32-53-42-46-50-47-82-4-30-83-84-49-35-86-27-31-33-64-16-8-75-3-24-21-48-38-1. Sendo que a distância total percorrida neste caminho é 3294,95km. O tempo computacional foi de 3 segundos.

4.1.2 Resultados obtidos via Cplex

A fim de resolver o problema via métodos exatos, e como para problemas maiores o solver do LibreOffice Calc se torna computacionalmente inviável, foi realizado testes via software Cplex para o bloco Campinas. Ele resolve problemas de Programação Linear utilizando vários métodos de planos de corte de acordo com o problema que deseja resolver. O caminho obtido foi 1-3-49-55-76-17-77-33-13-14-78-65-27-74-79-64-15-16-24-39-10-67-37-63-47-45-38-23-80-26-22-66-25-28-50-58-29-59-31-30-68-69-56-57-32-70-73-60-62-71-61-42-21-83-9-18-85-81-82-20-19-51-52-43-46-54-44-41-75-4-40-84-8-48-7-35-53-2-6-5-72-36-12-34-11, sendo que a distância total percorrida é 2744,95 km. O tempo computacional foi de 4 minutos.

4.1.3 Romaneio a Carregar 325

Além disso, foi cedido pela empresa o “Romaneio a Carregar 325” que é um subconjunto do setor Campinas e está descrito na Tabela 1.

TABELA 1: ROMANEIO A CARREGAR 325

| | | | |
|---|---|-----------------------------|---|
| 1 | TEMDA ESTOFADOS | PR APUCARANA | RUA JOSÉ ANTÔNIO DANTE- 590 PIRAPO |
| 2 | BRIARE MÓVEIS E DECORAÇÕES LTDA | SP LIMEIRA | Av. PIRACICABA, 90 - VILA SÃO JOÃO |
| 3 | MARSOLA MÓVEIS E DECORAÇÕES LTDA-ME | SP AMERICANA | Av. AFONSO PANSAN, 997 - VILA BERTINI |
| 4 | JOSÉ ALÉCIO TORRICELLI-ME | SP SANTA BÁRBARA D'OESTE | R. JOÃO LINO, 47 – CENTRO |
| 5 | MÓVEIS BERTINI - COMÉRCIO VAREJISTA | SP CAMPINAS | R. BENTO DE ARRUDA CAMARGO, 1126 - JD. SANTANA |
| 6 | CASA E ARTE MÓVEIS E DECORAÇÕES- ME | SP CAMPINAS | AV. JOSÉ BONIFÁCIO, 2371 - JD. DAS PAINEIRAS |
| 7 | THOMAZ MARTINS RODRIGUES JR | SP SOROCABA | R. CEL. NOGUEIRA PADILHA, 479 - VILA HORTÊNCIA |
| 8 | JOANA APARECIDA CERQUEIRA ARTHUR- ME | SP CERQUILHO | R. DR. CAMPOS, 170 – CENTRO |

FONTE: Autora (2018).

Na Figura 10, apresenta-se em forma de pontos plotados no plano cartesiano os endereços que compõem o “Romaneio a Carregar 325”. Vale destacar que a escala utilizada é latitude x longitude dos pontos. Tal figura foi construída na linguagem de programação Julia.

FIGURA 9: PONTOS REFERENTES AO ROMANEIO 325



FONTE: Autora (2018).

A matriz distância (em metros) referente ao romaneio 325 está na Tabela 2.

TABELA 2: MATRIZ DISTÂNCIA ROMANAIEO 325

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|---|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 1 | 0 | 562875 | 585028 | 572414 | 620048 | 606108 | 551468 | 500201 |
| 2 | 562875 | 0 | 22781 | 34508 | 58235 | 66098 | 131125 | 95589 |
| 3 | 585028 | 22781 | 0 | 24068 | 36165 | 44028 | 113789 | 95447 |
| 4 | 572414 | 34508 | 24068 | 0 | 47035 | 54898 | 101228 | 73811 |
| 5 | 620048 | 58235 | 36165 | 47035 | 0 | 11293 | 103796 | 101881 |
| 6 | 606108 | 66098 | 44028 | 54898 | 11293 | 0 | 98853 | 95841 |
| 7 | 551468 | 131125 | 113789 | 101228 | 103796 | 98853 | 0 | 85778 |
| 8 | 500201 | 95589 | 95447 | 73811 | 101881 | 95841 | 85778 | 0 |

FONTE: Autora (2018).

Utilizando os métodos heurísticos através do pacote *travelingsallesmanheuristics* da linguagem Julia, foi obtido o caminho 1 – 6 – 5 – 7 – 4 – 3 – 2 – 8 – 1, sendo que a distância percorrida neste caminho é 1330 km. O tempo computacional foi de 1,5 segundos.

A fim de resolver o problema via métodos exatos, utilizamos o solver do LibreOffice Calc, que resolve problemas de Programação Linear através do método *Branch and Bound* e o caminho obtido foi 1 -6- 5- 7- 4- 3- 2- 8- 1, sendo que a distância total percorrida é 1329,08 km.

4.2 SETOR CURITIBA

Este setor é composto por nove cidades da região de Curitiba-SP dentre elas: Curitiba, Ponta Grossa, Ivaiporã, Campina Grande do Sul, São José dos Pinhais, Telêmaco Borba, Rio Brando Do Sul, Campo Largo, Campo Magro. Esse conjunto de cidades resulta em cento e trinta clientes descritos no Apêndice 2. Os endereços foram transformados em uma matriz distância de dimensões 131x131. Na Figura 10, apresentamos em forma de pontos plotados no plano cartesiano os endereços que compõem o Setor Curitiba.

FIGURA 10: PONTOS REFERENTES AO SETOR CURITIBA



FONTE: Autora (2018).

4.2.1 Resultados via *software* Julia

Utilizando os métodos heurísticos através do pacote *travelingsallesmanheuristics* da linguagem Julia, foi obtido o caminho: 1-129-9-43-72-75-8-5-6-18-112-108-115-111-116-32-40-11-94-119-96-14-100-97-101-95-98-99-117-130-128-110-118-127-84-126-103-2-45-12-77-28-35-80-79-42-66-76-22-23-64-69-81-49-37-56-51-120-93-104-102-58-10-114-68-24-4-85-131-7-60-36-67-61-27-86-25-82-63-55-92-20-48-17-13-46-57-33-15-89-3-106-105-125-122-123-124-121-31-44-47-109-70-26-52-71-19-87-73-38-59-21-83-65-88-53-62-78-90-34-41-30-91-54-39-113-29-107-50-16-7-1. Sendo que a distância total percorrida neste caminho é 4187,33km. O tempo computacional foi de aproximadamente 3 segundos.

4.2.2 Resultados obtidos via Cplex

A fim de resolver o problema via métodos exatos, e como para problemas maiores o solver do LibreOffice Calc se torna computacionalmente inviável, foi realizado testes via software Cplex para o bloco Curitiba. Ele resolve problemas de Programação Linear utilizando vários métodos de planos de corte de acordo com o problema que deseja resolver. O caminho obtido foi 1-117-67-93-54-49-50-2-26-39-47-34-92-94-36-123-33-109-81-32-108-126-83-97-90-37-71-61-125-35-101-57-122-78-128-75-85-69-52-100-107-60-77-59-112-91-66-102-30-124-86-105-79-55-129-84-121-38-96-99-88-80-73-116-111-65-74-98-130-58-106-76-70-64-119-127-104-56-62-

28-120-110-40-95-89-31-113-51-103-27-87-118-46-20-18-19-48-24-11-43-9-21-10-72-3-16-41-5-6-4-7-8-17-42-44-15-22-45-3-29-115-68-63-114-82-23-14-25-12-13, sendo que a distância total percorrida é 3647,33km. O tempo computacional foi de aproximadamente 10 minutos.

4.2.3 Romaneio a Carregar 327

Foi cedido pela empresa o “Romaneio a Carregar 327” que é um subconjunto do setor Curitiba e está descrito na Tabela 4.

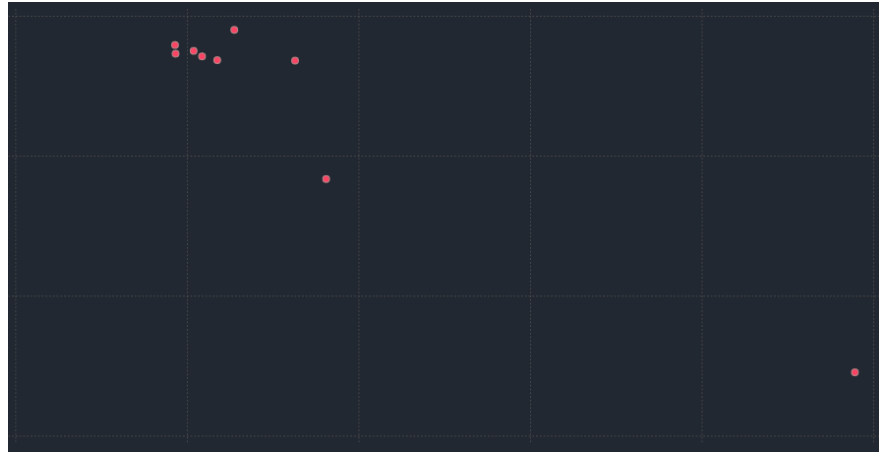
TABELA 3: ROMANEIO 327

| | | | |
|---|--|--------------------------|--|
| 1 | TEMDA ESTOFADOS | PR APUCARANA | RUA JOSÉ ANTÔNIO DANTE- 590 PIRAPO |
| 2 | W. SISTAK MÓVEIS | PR PONTA GROSSA | R. BALDUÍNO TAQUES, 445 – RONDA |
| 3 | KATULA COMÉRCIO DE MÓVEIS E DECORAÇÕES | PR CURITIBA | AV. MANOEL RIBAS, 4002 – CASCATINHA |
| 4 | DIONISIO DECIO JAROSK | PR CURITIBA | RUA DOM PEDRO I, 191, ÁGUA VERDE |
| 5 | FERNANDO OLIVEIRA SPAIT- ME | PR CURITIBA | RUA IZAAC FERREIRA CRUZ, 3700, SÍTIO CERCADO |
| 6 | CLAUDETE APARECIDA DA SILVA | PR CURITIBA | AV. MAL. FLORIANO PEIXOTO, 6170 – HAUER |
| 7 | DOM ANTONIO COMÉRCIO DE MÓVEIS EIRELI | PR SÃO JOSÉ DOS PINHAIS | R. QUINZE DE NOVEMBRO, 1310 – CENTRO |
| 8 | DEWITT E ZLOTY COMÉRCIO DE MÓVEIS | PR CAMPINA GRANDE DO SUL | R. PROF. DÚLIO CALDERARI - JD. PAULISTA |
| 9 | TIENDA MÓVEIS E DECORAÇÕES LTDA- ME | PR RIO BRANCO DO SUL | R. PADRE RIBEIRO, 498 – CENTRO |

FONTE: Autora (2018).

Na Figura 12, apresentamos em forma de pontos plotados no plano cartesiano os endereços que compõem o “Romaneio a Carregar 327”.

FIGURA 11: ROMANEIO 327



FONTE: Autora (2018).

A matriz distância (em metros) referente ao romaneio 327 está na Tabela 5.

TABELA 4: MATRIZ DISTÂNCIA ROMANEIO 327

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 1 | 0 | 262098 | 374819 | 374721 | 385042 | 389386 | 392711 | 405034 | 401105 |
| 2 | 262098 | 0 | 115831 | 115733 | 126054 | 130398 | 133723 | 146046 | 142117 |
| 3 | 374819 | 115831 | 0 | 8124 | 28672 | 13185 | 36340 | 26326 | 34093 |
| 4 | 374721 | 115733 | 8124 | 0 | 11845 | 6305 | 17530 | 25487 | 46790 |
| 5 | 385042 | 126054 | 28672 | 11845 | 0 | 8462 | 8077 | 31624 | 56495 |
| 6 | 389386 | 130398 | 13185 | 6305 | 8462 | 0 | 8521 | 23904 | 40702 |
| 7 | 392711 | 133723 | 36340 | 17530 | 8077 | 8521 | 0 | 30549 | 64441 |
| 8 | 405034 | 146046 | 26326 | 25487 | 31624 | 23904 | 30549 | 0 | 45987 |
| 9 | 401105 | 142117 | 34093 | 46790 | 56495 | 40702 | 64441 | 45987 | 0 |

FONTE: Autora (2018).

Utilizando os métodos heurísticos através do pacote *dtravelingsallesmanheuristics* da linguagem Julia, foi obtido o caminho, 1 - 2 - 3 - 9 - 8 - 6 - 7 - 5 - 4, sendo que a distância percorrida neste caminho é 886 km. O tempo computacional foi de 1,5 segundos.

A fim de resolver o problema via métodos exatos, utilizamos o solver do LibreOffice Calc, que resolve problemas de Programação Linear através do método *Branch and Bound* e o caminho obtido foi 1 - 2 - 3 - 9 - 8 - 6 - 7 - 5 - 4, sendo que a distância total percorrida é 885,08 km.

4.3 SETOR SANTOS

Este setor é composto por dez cidades da região de Santos-SP, Santos, Guarujá, Taubaté, Caraguatatuba, Praia Grande, São José dos Campos, Taboão Da Serra, Mogi Das Cruzes, São Vicente, Bertioga. Esse conjunto de cidades resulta em sessenta e sete clientes descritos no Apêndice 3. Os endereços foram transformados em uma matriz distância de dimensões 68x68.

4.3.1 Resultados via Software Julia

Utilizando os métodos heurísticos através do pacote *travelingsallesmanheuristics* da linguagem Julia, foi obtido o caminho: 1-9-18-12-8-19-13-10-16-11-20-15-14-17-42-48-46-44-34-41-39-36-31-32-40-37-35-43-47-38-33-61-54-60-62-59-58-57-55-56-29-28-30-27-63-21-50-49-51-52-53-65-64-7-66-68-67-6-2-4-3-5-45-25-24-26-23-22-1. Sendo que a distância total percorrida neste caminho é 8780,38 km. O tempo computacional foi de aproximadamente 3 segundos.

4.3.2 Resultados obtidos via Cplex

A fim de resolver o problema via métodos exatos, e como para problemas maiores o solver do LibreOffice Calc se torna computacionalmente inviável, foi realizado testes via software Cplex para o bloco Santos. Ele resolve problemas de Programação Linear utilizando vários métodos de planos de corte de acordo com o problema que deseja resolver. O caminho obtido foi 1-4-3-2-5-8-63-62-66-59-61-57-64-65-58-56-60-55-67-22-19-18-20-21-17-24-26-27-68-25-44-45-47-49-43-46-39-41-38-48-37-54-42-51-50-53-40-52-15-16-14-13-12-30-31-28-32-29-33-34-36-35-23-10-11-9-6-7-1, sendo que a distância total percorrida é 8257,29 km. O tempo computacional foi de 30,23 segundos.

4.3.3 Romaneio a Carregar 387

Foi cedido pela empresa o “Romaneio a Carregar 387” que é um subconjunto do setor Santos e está descrito na Tabela 6.

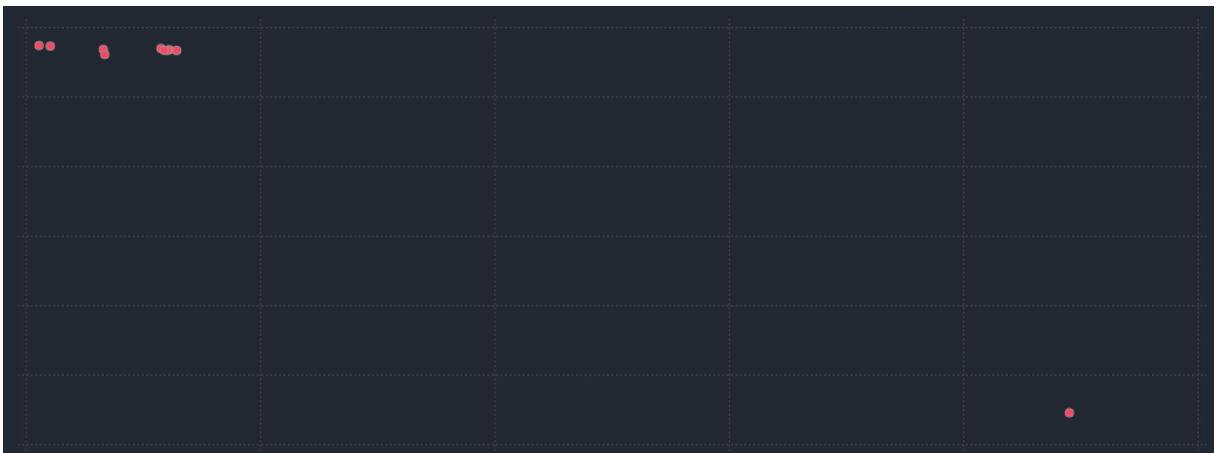
TABELA 5: ROMANEIO 387

| | | | |
|----|----------------------------------|---------------------|--|
| 1 | TEMDA ESTOFADOS | PR APUCARAN A | RUA JOSÉ ANTÔNIO DANTE- 590 PIRAPO |
| 2 | A MINHA CASA MOVEIS E DECOR | SP SANTOS | RUA AMADOR BUENO - 144-14 CENTRO |
| 3 | KASSEM COM. MOVEIS LTDA-ME | SP SANTOS | AVENIDA SENADOR FEIJO - 297 CENTRO |
| 4 | KASSIO MOVEIS E DECORAÇÕES | SP SANTOS | RUA SENADOR FEIJO - 233 VILA MATHIAS |
| 5 | MOHAMAD JAUDAT FARES MOV. | SP SÃO VICENTE | PRAÇA BARÃO DO RIO BRANCO - 191 CENTRO |
| 6 | JOSÉ ALBURQUERQUE JUNIOR M | SP SANTOS | RUA SÃO FRANCISCO - 474 PAQUETA |
| 7 | R. LARIOS SOLDAN - EPP | SP SANTOS | AVENIDA DOUTOR PEDRO LESSA - 2393 APARECIDA |
| 8 | A S MALAT MOVEIS E DECORAÇÕES | SP GUARUJÁ | AVENIDA PUGLISI - ATÉ 420 - LADO PAR CENTRO |
| 9 | FATAT ABDUL RAHMAN EL MALAT | SP GUARUJÁ | RUA AMAZONAS - 58 VILA ALICE |
| 10 | MOBILIADORA IMIGRANTES LTDA | SP GUARUJÁ | AVENIDA ADHEMAR DE BARROS - 496 VILA SANTO ANTÔNIO |

FONTE: Autora (2018).

Na Figura 12, apresentamos em forma de pontos plotados no plano cartesiano os endereços que compõem o “Romaneio a Carregar 387”. Vale destacar que a escala utilizada é latitude x longitude dos pontos. Tal figura foi construída na linguagem de programação Julia.

FIGURA 12: PONTOS REFERENTES AO ROMANEIO 387



FONTE: Autora (2018).

A matriz distância (em metros) referente ao romaneio 387 está na Tabela 6.

TABELA 6: MATRIZ DISTÂNCIA DO ROMANEIO 387

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 1 | 0 | 697600 | 698031 | 698183 | 693144 | 698546 | 702134 | 716778 | 712324 | 716743 |
| 2 | 697600 | 0 | 808 | 655 | 8652 | 1181 | 5800 | 45115 | 40662 | 45081 |
| 3 | 698183 | 808 | 0 | 1217 | 8899 | 1485 | 3950 | 46544 | 42090 | 46510 |
| 4 | 698031 | 655 | 1217 | 0 | 9051 | 1637 | 4103 | 46697 | 42243 | 46662 |
| 5 | 693144 | 8652 | 8899 | 9051 | 0 | 10177 | 8935 | 48243 | 43789 | 48209 |
| 6 | 698546 | 1181 | 1485 | 1637 | 10177 | 0 | 3790 | 46447 | 41993 | 46412 |
| 7 | 702134 | 5800 | 3950 | 4103 | 8935 | 3790 | 0 | 8742 | 45684 | 8058 |
| 8 | 716778 | 45115 | 46544 | 46697 | 48243 | 46447 | 8742 | 0 | 10168 | 1831 |
| 9 | 712324 | 40662 | 42090 | 42243 | 43789 | 41993 | 45684 | 10168 | 0 | 8810 |
| 10 | 716743 | 45081 | 46510 | 46662 | 48209 | 46412 | 8058 | 1831 | 8810 | 0 |

FONTE: Autora (2018).

Utilizando os métodos heurísticos através do pacote *travelingsallesmanheuristics* da linguagem Julia, foi obtido o caminho 1 – 5 – 3 – 6 - 2 – 9 – 10 – 8 – 7 – 4 – 1, sendo que a distância percorrida neste caminho é 1467 km. O tempo computacional foi de aproximadamente 1 segundo.

A fim de resolver o problema via métodos exatos, utiliza-se o solver do LibreOffice Calc, que resolve problemas de Programação Linear através do método *Branch and Bound* e o caminho obtido foi 1 – 5 – 3 – 6 - 2 – 9 – 10 – 8 – 7 – 4 – 1, sendo que a distância total percorrida é 1466,89km.

4.4 SETOR MATO GROSSO DO SUL

Este setor é composto por sete cidades da região do estado de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, Maracaju, Nova Andradina, Naviraí, Amambai, Sidrolândia e Mundo Novo. Esse conjunto de cidades resulta em quinze clientes descritos na Tabela 8. Os endereços foram transformados em uma matriz distância de dimensões 16x16.

TABELA 7: CLIENTES SETOR MS

| | | | | |
|------------------------------------|--------------------------|------------------------------|------|------------------|
| DORIVAL MIRANDA FREITAS - E GERAL | MS AMAMBAI | AV. PEDRO MANVAILER | 2745 | CENTRO |
| JULIANA ROSADO VALENTE GERAL | MS AMAMBAI | RUA FRANCISCO SEREJO NETO | 1321 | VILA ALVA |
| JULIO DA SILVA NUNES GERAL | MS AMAMBAI | RUA JOSÉ LUÍZ SAMPAIO FERRAZ | 3096 | VILA CRUZEIRO |
| ARTE CANO MOVEIS E DECORAÇÃO GERAL | MS CAMPO GRANDE | RUA JOSE ANTONIO | 727 | VILA CIDADE |
| IONISE CATARINA DE OLIVEIRA GERAL | MS CAMPO GRANDE | RUA DOS PRISMAS | 67 | JARDIM TV MORENA |
| R.R COMERCIO DE MOVEIS LTDA GERAL | MS CAMPO GRANDE | AV. DR PAULO COELHO MACHADO | 120 | ROYAL PARK |
| YELLOW MOVEIS E DECORAÇÕES GERAL | MS CAMPO GRANDE | RUA TREZE DE MAIO | 1421 | VILA LIBERDADE |
| ANDREA LUIZA GUIRARDI PEREI GERAL | MS DOURADOS | RUA MOHAMAD HASSAN HAJI | 925 | PARQUE ALVORADA |
| MARCIA CRISTINA PEREIRA DA GERAL | MS DOURADOS | RUA NOCA DAUZAKER | 905 | JARDIM ÁGUA BOA |
| MÓVEIS ROSA LTDA GERAL | MS DOURADOS | RUA. HAYEL BON FAKER | 550 | JD. AGUA BOA |
| CALDERAN MOVEIS DE MARACAJU GERAL | MS MARACAJU | RUA 11 DE JUNHO | 221 | CENTRO |
| NILSON BOAVENTURA OLIVEIRA GERAL | MS MUNDO NOVO | AVENIDA CAMPO GRANDE | 1040 | CENTRO |
| CLEUSI MAUER VESSONI GERAL | MS NAVIRAI | AV CAMPO GRANDE | 478 | CENTRO |
| CAMILO FABRI E CIA LTAD GERAL | MS NOVA ANDRADINA | RUA: SANTA LUCIA | 1379 | CENTRO |
| MOACIR HERNANDES NONATO GERAL | MS SIDROLANDIA | AVENIDA DORVALINO DOS SANTOS | 1173 | CENTRO |

FONTE: Autora (2018).

4.4.1 Resultados via *Software Julia*

Utilizando os métodos heurísticos através do pacote *travelingsallesmanheuristics* da linguagem Julia, foi obtido o caminho 1-13-14-2-4-3-11-10-9-12-16-8-5-7-6-15-1. Sendo que a distância total percorrida neste caminho é 1650,80 km. O tempo computacional foi de 2 segundos.

4.4.2 4.4.2 Resultados obtidos via LibreOffice Calc

A fim de resolver o problema via métodos exatos, utilizamos o solver do LibreOffice Calc, que resolve problemas de Programação Linear através do método *Branch and Bound* e o caminho obtido foi 1-12-13-14-5-3-4-6-9-10-11-8-16-15-2-7-1, sendo que a distância total percorrida é 1650,20 km.

4.4.3 4.4.3 Romaneio a Carregar 400

Foi cedido pela empresa o “Romaneio a Carregar 400” que é um subconjunto do setor MS e está descrito na Tabela 9.

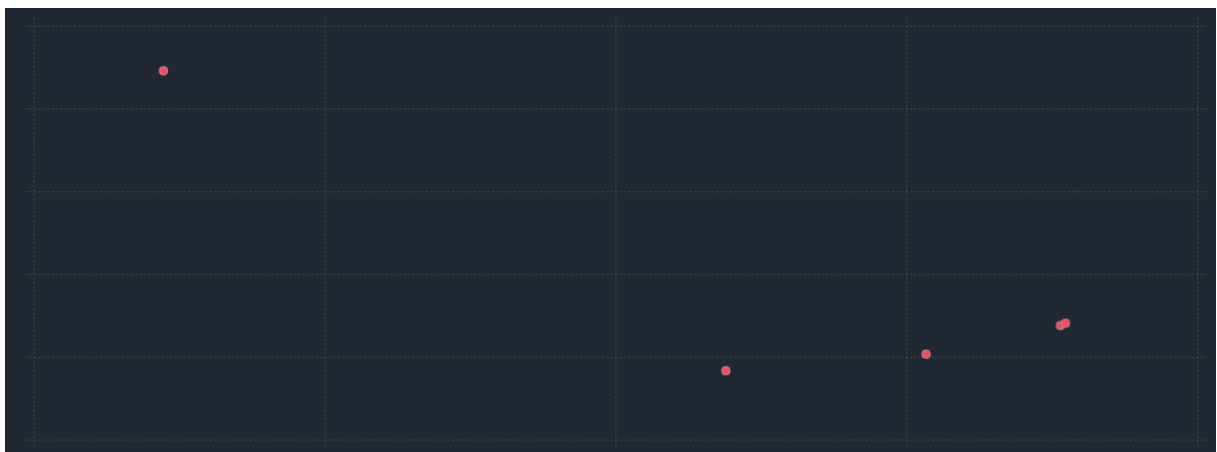
TABELA 8: ROMANEIO 400

| | | | |
|---|-----------------------------------|-----------------|--|
| 1 | TEMDA ESTOFADOS | PR APUCARANA | RUA JOSÉ ANTÔNIO DANTE- 590 PIRAPO |
| 2 | CALDERAN MOVEIS DE MARACAJU GERAL | MS MARACAJU | RUA 11 DE JUNHO, 221, CENTRO |
| 3 | MOACIR HERNANDES NONATO GERAL | MS SIDROLANDIA | AVENIDA DORVALINO DOS SANTOS, 1173, CENTRO |
| 4 | R.R COMERCIO DE MOVEIS LTDA GERAL | MS CAMPO GRANDE | AV. DR PAULO COELHO MACHADO, 120, ROYAL PARK |
| 5 | YELLOW MOVEIS E DECORAÇÕES GERAL | MS CAMPO GRANDE | RUA TREZE DE MAIO, 1421, VILA LIBERDADE |

FONTE: Autora (2018).

Na Figura 13, apresenta-se em forma de pontos plotados no plano cartesiano os endereços que compõem o “Romaneio a Carregar 400”.

FIGURA 13: PONTOS REFERENTES AO ROMANEIO 400



FONTE: Autora (2018).

A matriz distância (em metros) referente ao romaneio 400 está na Tabela 9.

TABELA 9: MATRIZ DISTÂNCIA DO ROMANEIO 400

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|--------|--------|--------|--------|--------|
| 1 | 0 | 580208 | 615435 | 624588 | 617323 |
| 2 | 580208 | 0 | 88899 | 162885 | 158635 |
| 3 | 615435 | 88899 | 0 | 73986 | 69736 |
| 4 | 624588 | 162885 | 73986 | 0 | 4407 |
| 5 | 617323 | 158635 | 69736 | 4407 | 0 |

FONTE: Autora (2018).

Utilizando os métodos heurísticos através do pacote *travelingsallesmanheuristics* da linguagem Julia, foi obtido o caminho 1- 2 – 3 – 4 – 5 - 1, sendo que a distância percorrida neste caminho é 1365km. O tempo computacional foi de 2,16 segundos.

A fim de resolver o problema via métodos exatos, utilizamos o solver do LibreOffice Calc, que resolve problemas de Programação Linear através do método *Branch and Bound* e o caminho obtido foi 1- 2 – 3 – 4 – 5 - 1, sendo que a distância total percorrida é 1364,82km.

4.5 ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS

A fim de avaliar os resultados obtidos pelo método heurísticos e pelo exatos, comparou-se os resultados obtidos com os caminhões da empresa de estofados. A seguir temos a rota e a distância percorrida pela empresa:

Para o romaneio 325, a distância total percorrida é 1359 km e as cidades são visitadas na ordem: 1 - 2 - 3 - 4 - 5 - 6 - 7 - 8 - 1.

Para o romaneio 327 a distância total percorrida é 893 km e as cidades são visitadas na ordem: 1 - 2 - 3 - 4 - 5 - 6 - 7 - 8 - 9 - 1.

Para o romaneio 387 a distância total percorrida é 1469 km e as cidades são visitadas na ordem: 1 – 2 – 3 – 4 – 5 – 6 – 7 – 8 – 9 – 10 - 1.

Para o romaneio 400 a distância total percorrida é 1365 km e as cidades são visitadas na ordem: 1 - 2 - 3 - 4 - 5 - 1.

A solução obtida pelo método heurístico via pacote do Julia para o romaneio 325 é 29 km menor que a solução utilizada pela empresa, ou seja, 2.13% a menos, o que equivale uma redução de custo de R\$ 34,00 aproximadamente considerando que o caminhão faz 3 km com um litro de diesel, e que o preço do diesel no estado do Paraná hoje está por volta de 3,46 reais o litro.

A empresa carrega em média onze caminhões por semana, se este caminhão percorresse apenas a rota do romaneio 325 depois dessa melhoria, resultaria em uma redução por semana de R\$374,00, no mês R\$1496,00, e no ano R\$17952,00 no custo com o transporte para empresa. Além do custo, há uma redução no tempo de entrega do produto ao cliente final de 22 minutos por rota para este romaneio, e se realizarmos a mesma suposição mencionada anteriormente, isto equivale a 242 minutos a menos que o caminhão iria percorrer na semana.

Quanto pelo método exato via solver do LibreOffice Calc para o Romaneio 325 a redução foi maior em comparação ao método anterior, equivalendo à 29,92 km a menos, ou seja, minimizando 2.20% a rota. Em relação ao custo, utilizando os parâmetros do caminhão já citados, no ano acarretaria em uma redução de R\$18221,00 para empresa. E na questão do tempo minimizaria 246,84 minutos por semana no tempo do motorista do caminhão.

O resultado alcançado pelo método heurístico via pacote do Julia para o romaneio 327 reduziria em 7 km esta rota, quando comparada ao caminho utilizado pela empresa, ou seja, diminuiria 0,78% do total percorrido e pelo método exato via solver do LibreOffice Calc reduziria 7,92 km e em percentual isso significaria 0,88% de redução, representando uma redução de custo de R\$8,00 e R\$9,00 respectivamente, por rota. Considerando os dados citados anteriormente, no ano, isso acarretaria em uma redução de R\$4224,00 e no custo com transporte via Julia e R\$4822,00 via solver. Além de que minimizou 57,75 minutos e 65,34 minutos do total do tempo percorrido por semana.

Para o romaneio 387 ambos os métodos resultaram em uma redução de aproximadamente 2km, o que equivale à uma economia no ano de R\$1217,92 caso a empresa fizesse apenas esta rota. Já para o romaneio 400 os resultados não foram significativos, pois o mesmo já estava no seu ótimo.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Estudar e propor soluções para os diversos problemas reais tem desafiado os pesquisadores no sentido de se buscarem novas técnicas que permitam obter melhores resultados e resolver problemas de dimensões crescentes e cada vez mais complexos.

O presente estudo atestou a possibilidade da aplicação de técnicas da Pesquisa Operacional em problemas de otimização de rotas e como estas são eficazes para diminuir gastos em uma empresa. Destaca-se como tópicos-chaves para realização deste estudo, a Programação Linear e não linear, os métodos heurísticos e exatos e a eficiência das ferramentas computacionais utilizadas.

O trabalho contribui para a área acadêmica como fonte bibliográfica sobre a aplicação prática do problema de rotas em cenários reais considerando uma empresa de médio porte. No âmbito empresarial, este trabalho contribui ao expor a possibilidade de uso da técnica para apoiar o processo decisório, proporcionando benefícios para as empresas.

Com base nos resultados dos testes computacionais, pode-se observar que se comparar os resultados obtidos via métodos exatos e heurísticos, podemos destacar que a solução encontrada pelo método heurístico é bem próxima da solução ótima encontrada pelo método exato para problemas de pequena instância, como por exemplo, os testes com os Romaneios.

Nota-se que, mesmo quando parece ter uma redução mínima na rota, quando se olha à longo prazo, este ganho torna-se significativo para a empresa. Em relação, a diminuição do tempo de viagem nas entregas, pode-se obter uma readequação no quadro de motoristas, ou um aumento de entregas por semana, assim possibilitando atender uma maior demanda com o menor custo. Por fim, vale ressaltar que, o intuito de utilizar pequenas amostras dos caminhos percorrido pelo caminhão (Romaneio), foi de mostrar que o Problema de Rotas ocorre mesmo nas pequenas instâncias.

Vale ressaltar que ao trabalhar com grande quantidade de dados, neste caso, matrizes de dimensões grandes o grau de dificuldade no tratamento de dados aumenta e consome parte considerável do tempo para trata-los, mas ainda assim, os resultados obtidos se mostraram promissores.

Pode-se observar também que através do *software* Cplex, foi possível resolver o PCV via métodos exatos utilizando uma junção de planos de cortes, em um tempo computacional viável, mesmo quando possui grande dimensão de dados.

Para pesquisas futuras, sugere-se a aplicação do problema de roteamento de veículos, para encontrar a rota que minimiza a viagem total levando em consideração outros fatores como: capacidade dos caminhões, janelas de tempo para realizar as entregas dos produtos.

REFERÊNCIAS

- ALVES, F. S. Problemas de roteamento de veículos aplicados no planejamento logístico do transporte escolar da cidade de Coxim - MS. 2015.
- ALVES, L. A. Método Simplex e Aplicações. Mestrado Profissional em Matemática. Universidade Federal do Piauí Centro de Ciências, Teresina, 2016.
- ANDRADE, E.L. - Introdução à Pesquisa Operacional: métodos e modelos para análise de decisões. 5.ed. - Rio de Janeiro: LTC, 2015.
- BELFIORE, P.& FÁVERO, L. P. Pesquisa operacional para cursos de Engenharia. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013.
- BERNARDES, L. C. Metaheurísticas para o Problema de Roteamento de Veículos Capacitados: o Algoritmo Híbrido de Otimização por Colônia de Formigas e a Busca Híbrida em Grande Vizinhança. Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia-MG, 2018.
- BERTAGLIA, P. R.; Logística e Gerenciamento da Cadeia de Abastecimento, 3ªEd. Editora Saraiva, São Paulo-SP, 2016.
- BEZANSON, J. S. K., VIRAL B. S. Julia: A Fast Dynamic Language for Technical Computing, 2012.
- CARVALHO, C. B. Aplicações de Meta-heurística Genética e Fuzzy no Sistema de Colônia de Formigas para o Problema do Caixeiro Viajante. Dissertação de Mestrado, UNICAMP, Campinas, julho de 2007. 78p.
- COSTA, P. Teoria de Grafos e suas Aplicações, Rio Claro, 2011.
- CUNHA, C.; BONASSER, U. & ABRAHÃO, F. Experimentos computacionais com heurísticas de melhorias para o problema do caixeiro viajante. In: Anais do XVI Congresso da Associação Nacional de Pesquisa em Transportes. Natal, RN, 2002.
- DORIGO, M., Optimization, Learning and Natural Algorithms [em italiano]. PhD thesis, Politecnico di Milano, Dipartimento di Elettronica ed Informatica, 1992.
- DORIGO, M. & Caro, G.D., Ant colony optimization: A new meta-heuristic. In: Proceedings of the Congress on Evolutionary Computation. Piscataway, USA: IEEE Press, p. 1470–1477, 1999.
- DORIGO, M. & Gambardella, L.M., Ant colony system: a cooperative learning approach to the traveling salesman problem. IEEE Transactions Evolutionary Computation, 1(1):53–66, 1997b.

DORIGO, M. & Stützle, T., Ant Colony Optimization. Cambridge, USA: MIT Press, 2004.

FRAGA, M. C. P. Uma metodologia híbrida: Colônia de formigas - busca tabu - reconexão por caminhos para resolução do problema de roteamento de veículos com janela de tempo. Dissertação de Mestrado - Cefet - MG, 2007.

GIL, Antonio C. Como elaborar projetos de pesquisas. 4 ed. São Paulo: Atlas, 2009.

HILLER, F.; LIEBERMAN, G.J. Introdução à pesquisa operacional. 3ª.ed. São Paulo: Edusp, 1988. 803 p.

HILLER, F.; LIEBERMAN, G.J. Introdução à pesquisa operacional. 8ª.ed. São Paulo: McGraw-Hill, 2006. 828 p.

IGNÁCIO, A. A. V.; Ferreira Filho, V. J. M. O uso de software de modelagem AIMMS na solução de problemas de programação matemática. Pesquisa Operacional, v.24, n.1, p.197-210, 2004.

KLAIBSON, B. N. R. LibreOffice Para Leigos-Facilitando a Vida no Escritório. E-book 2ª Edição, Biguaçu-SC, 2016.

LOPES, Heitor Silveiro; RODRIGUES, Luiz Carlos de Abreu; STEINER, Maria Teresinha Arns. Metaheurísticas em Pesquisa Operacional. 1ª Edição. Curitiba, PR: Omnipax, 2013.

MARTINELLI, S. A. L. Livro: Custos Logísticos. Curitiba-PR Instituto Federal Paraná Educação a Distância, 2012.

MARTINS, R.; Custos e Processos Logísticos: Quais são os custos logísticos no transporte rodoviário? São Paulo-SP, 2017.

MIGUEL, P. A. C. et al. Metodologia de pesquisa em Engenharia de Produção e gestão de operações. 2 a ed. Rio de Janeiro: [s.n.].

MULATI, M. H.; Constantino, A. A.; Silva, A. F. Otimização por Colônia de Formigas, Maringá-PR, 2011, 69p.

MOREIRA, L. E. M. Problema de roteamento de veículos com custos de fronteira. Dissertação de Mestrado, Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 2018, 88p.

PALM, W. J. Introdução ao MATLAB para Engenheiros. McGraw-Hill, 3ª Ed, 2013. 576p.

PAPADIMITRIOU, C. H., STEIGLITZ, K. Combinatorial Optimization: Algorithms and Complexity. Minneola: Dover Publications, 1998.

PRADO, D. Planejamento e controle de projetos. Nova Lima: INDG, 2004.

RAMOS J. Implementação e Análise do Problema do Caixeiro viajante usando uma nova abordagem através dos Algoritmos Genéticos e *Simulated Annealing*, Dissertação de Mestrado, UFSC, Florianópolis, fevereiro de 2001. 87p.

RASMUSSEN, R. TSP in spreadsheets -a fast and flexible tool. *Omega*, v. 39, p. 51–63, 2011.

RODRIGUES, Paulo Roberto Ambrosio, Introdução aos sistemas de transporte no Brasil e à logística internacional. 4 ed. São Paulo: Aduaneiras, 2007.

SILVA, Edna L.; MENEZES, Estera M. Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação. 4. ed. rev. atual. Florianópolis: UFSC, 2005. 138p

SILVA, E.M. GONÇALVES, V. & MUROLO, A.C.. Pesquisa Operacional, 3a Ed., Editora Atlas: São Paulo, 1998.

SIMON, D. Evolutionary Optimization Algorithms - biologically inspired and population - based approaches to computer intelligence. John Wiley & Sons, 742p, 2013.

SUCUPIRA, I. R. Métodos Heurísticos Genéricos: meta-heurísticas e hiper-heurísticas, Monografia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004. 41p.

TIGERLOG – CONSULTORIA E TREINAMENTO EM LOGÍSTICA. Curiosidades em Logística, TIGERLOG – Consultoria e Treinamento em Logística, 2010.

TOTH, P.; VIGO, D. The Vehicle Routing Problem. SIAM Monographs on Discrete Mathematics and Applications, Philadelphia, U.S.A, 2002.

ZHANG, J. Introdução ao IBM ILOG CPLEX Enterprise Server Escalabilidade, failover e interação com o cliente para as suas soluções de otimização, 2012.

YANASSE, H.; ARENALES, M.; MORABITO, R.; ARMENTANO, V.; Pesquisa operacional para cursos de engenharia. Editora Campus, 2007.

APÊNDICE 1 – CLIENTES SETOR CAMPINAS

SP AMERICANA AVENIDA CAMPOS SALES 1201 VILA FREZARIM

SP AMERICANA PRACA QUINZE DE NOVEMBRO 23 CENTRO

SP AMERICANA RUA ACHILES ZANAGA 120 VILA MEDON

SP AMERICANA RUA ROSAS DAS 385 CIDADE JARDIM

SP ARARAS RUA SANTA CRUZ 520 CENTRO

SP ARARAS AVENIDA LORETO 1420 JD LUIZA MARIA

SP ARARAS RUA FREDERICO RUEGGER 261 JARDIM CANDIDA

SP ARARAS RUA CESARIO COIMBRA 136 CENTRO

SP CAJAMAR AVENIDA TENENTE MARQUES 3742 POLVILHO

SP CAMPINAS RUA BENTO ARRUDA CAMARGO 1238 JARDIM SANTANA

SP CAMPINAS AVENIDA JOSE BONIFÁCIO 2371 JARDIM FLAMBOYANT

SP CAMPINAS RUA SANTOS 347 A JARDIM NOVA EUROPA

SP CAMPINAS RUA DOUTOR JOSE DE CAMPOS NOVAES 20 VILA ELIZA

SP CAMPINAS AVENIDA SENADOR ANTONIO FRANCO 262 VILA RICA

SP CAMPINAS OSWALDO CRUZ 266 JD NOSSA SR AUXILIADO

SP CAMPINAS RUA BENTO DE ARRUDA CAMARGO 990 JARDIM SANTANA

SP CAMPINAS RUA BENTO DE ARRUDA CAMARGO 1102 JARDIM SANTANA

SP CAMPINAS AV BENTO DE ARRUDA CAMARGO 1126 JD SANTANA

SP CAMPINAS RUA URUGUAIANA 431 BOSQUE

SP CERQUILHO RUADR CAMPOS 170 CENTRO

SP INDAIATUBA AV ENG FABIO ROBERTO BARNABE 3502 PQ ECOLOGICO

SP INDAIATUBA AV CORONEL ESTANISLAU DO AMARAL 12 JARDIM JULIANA

SP INDAIATUBA AVENIDA VISCONDE DE INDAIATUBA 208 VILA VITÓRIA I

SP INDAIATUBA AVENIDA VISCONDE DE INDAIATUBA 401 VILA VITÓRIA I

SP IRACEMÁPOLIS RUA ANTONIO CASEMIRO 489 CENTRO

SP IRACEMÁPOLIS RD IRACEMAPOLIS A STA BARBARA 306 DOS COQUEIROS

SP IRACEMÁPOLIS AVENIDA PAULO SOARES HUNGRIA 230 PARQUE ATENAS DO SUL

SP ITAPIRA RUA JOSE BONIFACIO 118 CENTRO

SP ITAPIRA RUA ALMIRANTE BARROSO 400 CENTRO

SP ITAPIRA AVENIDA BRASÍLIA 169 VILA MAGALI

SP ITAPIRA RUA 15 DE NOVEMBRO 57 CENTRO

SP ITATIBA RODOVIA ALKINDAR M JUNQUEIRA ITATIB SITIO DA MOEDA

SP ITATIBA RUA JOSÉ FUMACHI 296

SP ITATIBA AV 29 DE ABRIL 665 CENTRO

SP ITATIBA VENIDA MARECHAL CASTELO BRANCO LJ JD SANTA ROSA

SP ITATIBA RUA CORONEL CAMILO PIRES 526 CENTRO

SP ITATIBA AV 29 DE ABRIL 665 CENTRO

SP ITATIBA AVENIDA VINTE E NOVE DE ABRIL 576 VILA SANTA LUZIA

SP ITATIBA AVENIDA VINTE E NOVE DE ABRIL 595 CENTRO

SP ITATIBA RUA LUIZ SCAVONE 791 JARDIM DE LUCCA

SP ITU RUA FRANCISCO RODRIGUES DA COSTA 11 CRUZ DAS ALMAS

SP ITU RUA FLORIANO PEIXOTO 301 CENTRO

SP ITU AVENIDA NOVE DE JULHO 482 JARDIM PADRE BENTO

SP ITU AVENIDA NOVE DE JULHO 482 JARDIM PADRE BENTO

SP JAGUARIUNA RUA ALFREDO BUENO 1228 CENTRO

SP JUNDIAI AVENIDA DOUTOR ODIL CAMPOS DE SÁES JARDIM SAO BENTO

SP JUNDIAI AVENIDA ANTONIO FREDERICO OZANAN 46 JARDIM LIBERDADE

SP JUNDIAI RUA CARLOS GOMES 1231 VILA GRAFF

SP JUNDIAI AVENIDA GERALDO AZZONI 3700 RIO ACIMA

SP JUNDIAI RUA BARONESA DO JAPI 80 BELA VISTA

SP JUNDIAI AV ANTONIO FREDERICO OZANAN CASA 29 JD SHANGAI

SP LEME RUA DAS AÇUCENAS 24 JARDIM NOVA LEME

SP LEME AVENIDA JOAQUIM LOPES AGUILA 2025 VILA SÃO JORGE

SP LIMEIRA AV PIRACICABA 90 CENTRO

SP LIMEIRA AV GUMRCINDO ARAUJO 192 JD NOVA ITALIA

SP LIMEIRA AVENIDA SANTA BARBARA 1651 JD SANTA BARBARA

SP LIMEIRA RUA MAURICIO SILMAN 58 JD VISTA ALEGRE

SP LIMEIRA RUA PROFESSOR MARCÍLIO GUISELINI 31 JARDIM ESMERALDA

SP LIMEIRA RUA DOUTOR TRAJANO BARROS DE CAMARGO CENTRO BOM JESUS

SP LIMEIRA AV ACADEMICO LUIZ A BITENCOURT 20 JD ESMERALDA

SP LIMEIRA RUA INDEPENDENCIA 291 VILA SAO JOAO

SP LIMEIRA AVENIDA PIRACICABA 202 VILA SAO JOAO

SP PAULÍNIA AVENIDA JOSE PAULINO 4569 SANTA TEREZINHA

SP PAULÍNIA RUA SAO BENTO - 1007 VL JOSE P NOGUEIRA

SP PIRACICABA RUA SAO FRANCISCO DE ASSIS 1110 CENTRO

SP PIRACICABA RUA MORAES BARROS 1387 CENTRO

SP PIRACICABA AVENIDA RUI BARBOSA 50 VILA REZENDE

SP PIRACICABA RUA ALFREDO GUEDES APT 104 157 SAO JUDAS

SP PIRACICABA RUA JOSE FERRAZ DE CARVALHO 899 CENTRO

SP PIRACICABA RUA SAO JOAO 130 ALTO

SP PIRACICABA AVENIDA DOIS CORREGOS 153 MORUMBI

SP PIRACICABA RUA JOSE FERRAZ DE CARVALHO 893 CENTRO

SP PIRACICABA AV PIRACICAMIRIM 2543 PIRACICAMIRIM

SP RIO CLARO AV 38 1608 SANTA TEREZINHA

SP RIO CLARO RUA 23 2200 J M MANIER

**SP RIO CLARO AV SABURO AKAMINE WUNZEL RUA 22 219 JD MATHEUS
MANIERO**

SP SANTA BARBARA DO RUA ESPANHA 150 JARDIM EUROPA

SP SANTA BARBARA DO AV DA AMIZADE 3167 PARQUE SANTA ROSA 2

SP SANTA BARBARA DO RUA DO ACUCAR 10 JARDIM SAO FERNANDO

SP SANTA BARBARA DO RUA JOAO LINO 474

SP SANTA BARBARA DO RUA RECIFE 600 CENTRO

SP SANTANA DE PARNAIBA AL AMERICA POLO EMPRESARIAL 101 TAMBO

SP SOROCABA MIRASSOL AP 12 105 TRUJILO

**SP SOROCABA RODOVIA RAPOSO TAVARES KM 106,50 PARQUE RESERVA
FA**

SP SUMARE RUA FELIX GOMES DOS SANTOS 625 JARDIM SANTA CAROLINA

SP TIETE RUA ANTONIO NERY 430 CENTRO

APÊNDICE 2 - CLIENTES SETOR CURITIBA

PR ARAUCARIA AVENIDA DAS ARAUCARIAS 3621 THOMAZ COELHO

PR ARAUCARIA RUA PRESIDENTE CARLOS CAVALCANTI 69 CENTRO

PR CAMPINA GRANDE RUA DUILIO CALDERA 1963 JARDIM PAULISTA

PR CAMPINA GRANDE AV ANNIBALE FERRARINI 1059 JARDIM NESITA

PR CAMPO LARGO RUA XV DE NOVEMBRO 2522 CENTRO

PR CAMPO LARGO RUA XV DE NOVEMBRO 2079 CENTRO

PR CAMPO LARGO RUA RUI BARBOSA 1902 CENTRO

PR CAMPO LARGO RUA CENTENARIO 2700 CENTRO

PR CAMPO LARGO RUA XV DE NOVEMBRO 3258 CENTRO

PR CAMPO MAGRO RUA ESTRADA DO CERNE 13800 SAMAMBAIA

PR CERRO AZUL RUA BARAO DO RIO BRANCO 251 CENTRO

PR CERRO AZUL AV GETULIO VARGAS 66 CENTRO

PR COLOMBO RUA COLOMBIA 23 JARDIM RIO VERDE

PR COLOMBO ESTRADA DA RIBEIRA 1102 VILA GUARANI

PR COLOMBO RUA DORVAL CECCON 809 FATIMA

PR COLOMBO AVENIDA ARGENTINA 289 RIO VERDE

PR COLOMBO RUA ABEL SCUISSIATTO 366 ALTO MARACANA

PR COLOMBO RUA DA PEDREIRA 49 CAMPO COMPRIDO

PR CURITIBA RUA 25 DE AGOSTO 256 BOQUEIRÃO

**PR CURITIBA RUA MARECHAL JOSE AGOSTINHO DOS SANTO CAPAO DA
IMBUIA**

PR CURITIBA RUA GENERAL MARIO TOURINHO 76 SEMINARIO

PR CURITIBA LINHA VERDE BR 116 14939 FANY

PR CURITIBA REVERENDO ALGUSTO PAZ DE AVILLA 60 ALTO BLOQUEIRAO

PR CURITIBA RUA ROMEDIO DORIGO APT 1903 B 08 AGUA VERDE

PR CURITIBA RUA MATEUS LEMOS 205 CENTRO CIVICO

PR CURITIBA ANTONIO CANDIDO CAVALIM 752 BAIRRO ALTO

PR CURITIBA AV MARECHAL FLORIANO PEIXOTO 6170 HAUER

PR CURITIBA RODOVIA BR-116 17632 PINHEIRINHO

PR CURITIBA RUA RAUL POMPEIA 637 CIDADE INDUSTRIAL

PR CURITIBA RUA SALVADOR 507 PILARZINHO

PR CURITIBA RUA JOAO GOMES 433 NOVO MUNDO

PR CURITIBA RUA JOSE CARLOS DE MACEDO SOARES 37 XAXIM

PR CURITIBA RUA CARNEIRO LOBO APTO 901 24 AGUA VERDE

PR CURITIBA RUA DOM PEDRO 1-191 AGUA VERDE

PR CURITIBA RUA OMAR RAIMUNDO PICHETH 829 XAXIM

PR CURITIBA RUA ROSA CARVALHO CHAVES 201 FANNY

PR CURITIBA AV MARECHAL FLORIANO PEIXOTO 9591 BOQUEIRAO

PR CURITIBA RUA EURIDES CUNHA APTO 601 173 RESIDENCIAL MONACO

PR CURITIBA R MONSENHOR IVO ZANLORENZI 962 CAMPINA DO SIQUEIRA

PR CURITIBA RUA NESTOR VICTOR 316 AGUA VERDE

PR CURITIBA AVENIDA PRESIDENTE KENNEDY 3531 PORTAO

PR CURITIBA RUA IZAAC FERREIRA DA CRUZ 3700 LOJ SITIO CERCADO

PR CURITIBA RUA REZALA SIMAO 1316 SANTA QUITERIA

PR CURITIBA RUA CAPITAO LEONIDAS MARQUES 444 UBERABA

PR CURITIBA RUA ENGENHEIRO FARID SURUGI CASA 02 TARUMA

PR CURITIBA AVENIDA VISCONDE DE GUARAPUAVA 2168 CENTRO

PR CURITIBA RUA JAGUAPITA 496 ALTO BOQUEIRAO

PR CURITIBA AV WISTON CHURCHILL 1527 CAPAO RASO
PR CURITIBA REPUBLICA ARGENTINA 5120 CAPAO RASO
PR CURITIBA RUA NICARAGUA AP104 A 1995 BACACHERI
PR CURITIBA AV REPUBLICA ARGENTINA 5140 NOVO MUNDO
PR CURITIBA AVENIDA WISTON CHUCHILL 2390 PINHEIRINHO
PR CURITIBA RUA ANNE FRANK 1032 HAUER
PR CURITIBA AVENIDA MANOEL RIBAS 4002 SANTA FELICIDADE
PR CURITIBA R ENG EDUARDO AFONSO NALDONY 863 VITÓRIA REGIA
PR CURITIBA AVENIDA REPUBLICA ARGENTINA 5140 NOVO MUNDO
PR CURITIBA RUA BARAO DO RIO BRANCO 305 CENTRO
PR CURITIBA RODOVIA DOS MINEIROS 2420 ABRANCHES
PR CURITIBA RUA GENERAL ARISTIDES DE ATAYDE JUNIO BIGORRILHO
PR CURITIBA RUA ALMIRANTE TAMADARE 830 ALTO DA XV
PR CURITIBA RUA AUGUSTO STRESSER 1745 JUVEVE
PR CURITIBA RUA TENENTE FRANCISCO FERREIRA DE SOU HAUER
PR CURITIBA RUA JOSE REIMEYER 449 GUABIROTUBA
PR CURITIBA AV REPUBLICA ARGENTINA 4841 NOVO MUNDO
PR CURITIBA RUA LAMENHA LINS 2150 REBOUCAS
PR CURITIBA RUA OURIZONA 1812 SITIO CERCADO
PR CURITIBA RUA DA GLÓRIA APT 1401 251 SUPERQUADRA RESIDENCE
PR CURITIBA AV MANOELS RIBAS 3439 SANTA FELICIDADE
PR CURITIBA AVENIDA REPUBLICA ARGENTINA 4855 NOVO MUNDO
PR CURITIBA RUA TIJUCAS DO SUL 571 SITIO CERCADO
PR CURITIBA RUA CIDADE DE TIMBO 545 VILA SANTA HELENA CIDAD
PR CURITIBA RUA PROFESSOR DARIO VELOSO 361 VILA IZABEL

PR CURITIBA RUA JOSÉ VENDRAMETTO CASA 08 XAXIM

PR CURITIBA RUA ANETTE DUBARD 505 TATUQUARA

PR CURITIBA RUA DARIO VELOSO 282 VILA IZABEL

PR CURITIBA RUA FRANCISCO DEROSSO 4081 XAXIM

PR CURITIBA RUA JOAO BETTEGA 6000 CIC

PR CURITIBA RUA CARONEL RICARDO DOS SANTOS 1316 HAUER

PR CURITIBA RUA AMAZONAS 1167 AGUA VERDE

PR CURITIBA RUA PRIMEIRO DE MAIO 953 XAXIM

PR CURITIBA AVENIDA REPUBLICA ARGENTINA 5120 NOVO MUNDO

PR CURITIBA RUA OYAPOCK 70 CRISTO REI

PR CURITIBA RUA ANTONIO RODRIGUES 120 SEMINARIO

PR CURITIBA AVENIDA VEREADOR TOALDO TULIO 3891 SAO BRAZ

PR CURITIBA RUA CARLOS AUGUSTO CORNELSEN 21 BOM RETIRO

PR CURITIBA RUA FRANCISCO ALVES GUIMARAES APTO CRISTO REI

PR CURITIBA R MAR JOSE AGOSTINHO DOS SANTOS 26 CAPAO DA IMBUIA

PR CURITIBA RUA ENGENHEIRO FARID SURUGI 408 TARUMA

PR CURITIBA AVENIDA VEREADOR TOALDO TULIO 4639 SAO BRAZ

PR CURITIBA RUA GUILHERME PUSGLEY 966 AGUA VERDE

PR CURITIBA AV MANOEL RIBAS 3539 SANTA FELICIDADE

PR CURITIBA RUA OYAPOCK 1402 CRISTO REI

PR CURITIBA RUA JOAO BETTEGA LJ 03 899 PORTAO

PR IVAÍ RUI BARBOSA 306 CENTRO

PR IVAIPORA AV PARANA 1370 CENTRO

PR IVAIPORA RUA DIVA PROENCA 1235 CENTRO

PR IVAIPORA AV SOUZA NAVES 890 CENTRO

PR IVAIPORA AV PARANA 1120 CENTRO

PR IVAIPORA AV SOUZA NAVES 765 CENTRO

PR IVAIPORA AV SOUZA NAVES 1255 CENTRO

PR IVAIPORA AVENIDA PARANA 330 CENTRO

PR MANOEL RIBAS RUA 7 DE SETEMBRO 429 CENTRO

PR MANOEL RIBAS AVENIDA 07 DE SETEMBRO APT 02 1903 CENTRO

PR MANOEL RIBAS RUA SETE DE SETEMBRO 435 CENTRO

PR PIRAQUARA AVENIDA GETÚLIO VARGAS 1053 CENTRO

PR PONTA GROSSA RUA WALTER ACKERT 08 CENTRO

PR PONTA GROSSA RUA. BAUDUINO TAQUES SALA 4 445 CENTRO

PR PONTA GROSSA RUA ITALIA 304 JD EUROPA

PR PONTA GROSSA ITAPETININGA 310 UVARANAS

PR PONTA GROSSA RUA RIO IAPO 116 RIO VERDE

PR PONTA GROSSA AV ERNESTO VILLENA 800 NOVA RUSSIA

PR PONTA GROSSA RUA HELLADIO VIDAL CORREIA UVARANAS

PR PONTA GROSSA RUA ORTIGUEIRA 396 PQ AUTO ESTRADA

PR PONTA GROSSA RUA JOÃO CECY FILHO 565 ANA RITA

PR PONTA GROSSA RUA VICTOR DE MEIRELES LTDA 288 RONDA

PR PONTA GROSSA RUA FRANCISCO RIBAS 333 CENTRO

PR PONTA GROSSA RUA BALDUÍNO TAQUES 445 CENTRO

PR RESERVA MARCILIO DIAS 391 CENTRO

PR RESERVA AV CEL RODRIGO BARBOSA 1021 CENTRO

PR RIO BRANCO DO SUL RUA PADRE RIBEIRO 498 CENTRO

PR SAO JOSE DOS PINH RUA JOINVILLE 4079 SAO PEDRO

PR SAO JOSE DOS PINH RUA QUINZE DE NOVEMBRO 1310 CENTRO

PR SAO JOSE DOS PINH RUA QUINZE DE NOVEMBRO 1310 CENTRO

PR SAO JOSE DOS PINH RUA QUINZE DE NOVEMBRO 1320 CENTRO

PR SAO JOSE DOS PINH RUA XV DE NOVEMBRO 2749 CENTRO

PR SAO JOSE DOS PINH RUA CANOINHAS 691 SAO SEBASTIÃO

PR SAO JOSE DOS PINH AV RUI BARBOSA 2529 IPE

PR TELEMACO BORBA AVENIDA PARANA 723 CENTRO

PR TELEMACO BORBA MRUA PROFESSORA EDITH GORDAN 658 CENTRO

PR TELEMACO BORBA RUA IMBAUBA 97 JARDIM MINTE CARLOS

PR TELEMACO BORBA RUA PROF EDITH GORDAN 658 CENTRO

PR TELEMACO BORBA AVENIDA PARANA 821 CENTRO

APÊNDICE 3 - CLIENTES SETOR SANTOS

SP BERTIOGA AV. 19 DE MAIO - JD. ALBATROZ 901
 SP CARAGUATATUBA AVENIDA SABIÁ LARANJEIRA JARDIM TERRALAO 64
 SP CARAGUATATUBA AVENIDA RIO BRANCO - INDAIA 366
 SP CARAGUATATUBA AVENIDA PRISCILIANA DE CASTILHO CENTRO 692
 SP CARAGUATATUBA AVENIDA RIO BRANCO -INDAIA 965
 SP CARAGUATATUBA AVENIDA DOS IPES -CIDADE JARDIM 1899
 SP GUARATINGUETÁ RUA JOSÉ BONIFÁCIO -CENTRO 163
 SP GUARUJÁ AVENIDA PUGLISI –CENTRO 420
 SP GUARUJÁ AVENIDA DOM PEDRO -JARDIM TRÊS MARIAS 1332
 SP GUARUJÁ AV. SANTOS DUMONT -VICENTE DE CARVALHO 1157
 SP GUARUJÁ RUA AMAZONAS -VILA ALICE 58
 SP GUARUJÁ AV. DOM PEDRO I -J. TRÊS MARIAS 1336
 SP GUARUJÁ RUA ROSENDO AMADO -JARDIM LAS PALMAS 91
 SP GUARUJÁ AVENIDA ADHEMAR DE BARROS VILA SANTO ANTONIO 482
 SP GUARUJÁ AVENIDA ADHEMAR DE BARROS -VILA SANTO ANTÔNIO 496
 SP GUARUJÁ RUA AMAZONAS -VILA ALICE 58
 SP GUARUJÁ AVENIDA ADHEMAR DE BARROS -JARDIM SANTA MARIA 2334
 SP GUARUJÁ AVENIDA DOM PEDRO -JARDIM TRÊS MARIAS 1336
 SP GUARUJÁ AVENIDA ADEMIR DE BARROS -V. FUNCHAL 2404
 SP GUARUJÁ AVENIDA THIAGO FERREIRA -VILA ALICE 654
 SP GUARULHOS RUA MARIA ROSA CASEIRO -JARDIM DA MAMÃE 14
 SP MOGI DAS CRUZES AV. HENRIQUE EROLES -CENTRO 1067
 SP MOGI DAS CRUZES RUA BARÃO DE JACEGUAI – CENTRO 402
 SP MOGI DAS CRUZES RUA JOÃO REGUEIRO LUIZ, -VILA CELESTE 95

SP MOGI DAS CRUZES RUA ADRIANO PEREIRA JUNDIAPEBA 68

SP MOGI DAS CRUZES RUA CEL SOUZA FRANCO CENTRO 500

SP PRAIA GRANDE AVENIDA PRESIDENTE KENNEDY -CAIÇARA 12914

SP PRAIA GRANDE AVENIDA PRESIDENTE COSTA E SILVA - BOQUEIRÃO85

SP PRAIA GRANDE AVENIDA PRESIDENTE COSTA E SILVABOQUEIRÃO 11

SP PRAIA GRANDE AV. PRESIDENTE KENNEDY -VILA TUPI 5910

SP SANTOSRUA AMADOR BUENO -CENTRO 144-14

SP SANTOSRUA AMADOR BUENO -CENTRO 193

SP SANTOS"RUA: AMADOR BUENO –CENTRO 145

SP SANTOSRUA RODRIGO SILVA -MACUCO 103

SP SANTOSRUA AMADOR BUENO -CENTRO 130

SP SANTOS"R. SENADOR FEIJO, -CENTRO 275

SP SANTOSRUA SÃO FRANCISCO -PAQUETA 474

SP SANTOSRUA AMADOR BUENO -CENTRO 118

SP SANTOSAVENIDA SENADOR FEIJO -CENTRO 297

SP SANTOSRUA SENADOR FEIJO -VILA MATHIAS 233

SP SANTOSRUA JULIO CONCEIÇÃO -VL MATHIAS 156

SP SANTOS"AVENIDA AFONSO PENA –CENTRO 615

SP SANTOSRUA: AMADOR BUENO -CENTRO 132

SP SANTOSRUA ALEXANDRE MARTINS -APARECIDA 80

SP SANTOSAVENIDA DOUTOR PEDRO LESSA -APARECIDA 2393

SP SANTOSAV. PEDRO LESSA -APARECIDA 1094

SP SANTOSRUA AMADORBUENO -CENTRO 174

SP SANTOSAVENIDA PEDRO LESSA -PONTA DA PRAIA 1068

SP SÃO JOSÉ DOS CAMPOS RUA VIENA -JARDIM OSWALDO CRUZ 203

SP SÃO JOSÉ DOS CAMPOS AV. DEP. BENEDITO MATARAZZO -JD.
OSWALDO CRUZ 9075

**SP SÃO JOSÉ DOS CAMPOS AV. DR ADHEMAR P. DE BARROS -SÃO DIMAS
/JD MARINGÁ 1737**

SP SÃO JOSÉ DOS CAMPOS PRAÇA MAURICIO CURY –CENTRO 34

**SP SÃO JOSÉ DOS CAMPOS RUA CLAUDINO PRISCO -VILA NOVA CRISTINA
120**

SP SÃO VICENTE RUA XV DE NOVEMBRO - CENTRO 1- 450

SP SÃO VICENTE RUA FREI GASPAR -PARQUE SÃO VICENTE 2664

SP SÃO VICENTE RUA FREI GASPAR -CENTRO 1 - 418

SP SÃO VICENTE RUA DOUTOR CAMPOS SALES –CENTRO 242

SP SÃO VICENTE RUA. XV DE NOVEMBRO –CENTRO 438

SP SÃO VICENTE "PRAÇA BARÃO DO RIO BRANCO –CENTRO 191

SP SÃO VICENTE RUA FREI GASPAR -CENTRO 418

SP SÃO VICENTE RUA SANTO ANTÔNIO -JARDIM GUASSU 23

SP SÃO VICENTE RUA PADRE ANCHIETA –CENTRO 455

SP TABOÃO DA SERRA AVENIDA FELÍCIO BARUTTI CIDADE INTERCAP 48

SP TAUBATÉ RUA LUIZ DE CAMPOS -GRANJA DANIEL 186

SP TAUBATÉ AV. ITÁLIA -JARDIM DAS NAÇOES 1250

SP TAUBATÉ RUA DOUTOR SILVA BARROS -CENTRO 335/337

SP UBATUBA AVENIDA BERNADINO QUERIDO -ITAGUA 761

SP UBATUBA RUA. DONA MARIA ALVES -CENTRO 317