

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

VITOR GUSTAVO OLIVEIRA DE CARVALHO

**ROTEIRIZAÇÃO DE VEÍCULOS EM UMA INDÚSTRIA DE VIDROS
TEMPERADOS**

DOURADOS

2018

VITOR GUSTAVO OLIVEIRA CARVALHO

**ROTEIRIZAÇÃO DE VEÍCULOS EM UMA INDÚSTRIA DE VIDROS
TEMPERADOS**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação
apresentado para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia de Produção da
Faculdade de Engenharia da Universidade
Federal da Grande Dourados.
Orientador: Prof. Dr. Eng. Walter Roberto
Hernández Vergara

DOURADOS

2018

VITOR GUSTAVO OLIVEIRA CARVALHO

**ROTEIRIZAÇÃO DE VEÍCULOS EM UMA INDÚSTRIA DE VIDROS
TEMPERADOS**

Trabalho de Conclusão de Curso aprovado como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção na Universidade Federal da Grande Dourados, pela comissão formada por:

Orientador: Prof. Dr. Eng. Walter Roberto Hernández Vergara

Prof. Dr. Liomar de Oliveira Cachuté

Prof. Dra. Mariana Lara Menegazzo

Dourados-MS, de abril de 2018.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

C331r Carvalho, Vitor Gustavo Oliveira De
Roteirização de veículos em uma indústria de vidros temperados / Vitor
Gustavo Oliveira De Carvalho -- Dourados: UFGD, 2018.
42f. : il. ; 30 cm.

Orientador: Walter Roberto Hernández Vergara

TCC (Graduação em Engenharia de Produção) - Faculdade de Engenharia,
Universidade Federal da Grande Dourados.
Inclui bibliografia

1. Roteirização. 2. logística. 3. heurística. 4. distribuição. I. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

©Direitos reservados. Permitido a reprodução parcial desde que citada a fonte.

AGRADECIMENTOS

Ao professor Dr. Walter R. Hernández Vergara pela confiança e apoio em várias etapas da minha caminhada pela universidade.

À minha família, em especial à minha mãe pelo incentivo na minha formação acadêmica e minha tia Marinete pelos inúmeros conselhos.

Aos meus amigos, em especial ao Guilherme e Jeniffer que estiveram sempre comigo.

RESUMO

Neste trabalho estuda-se o problema de roteirização de veículos de transporte de mercadorias de uma indústria de vidros temperados, localizada na cidade de Dourados-MS. Nesse problema, peças de vidros são produzidas e armazenadas na empresa para posteriormente serem transferidas a consumidores finais, localizados em outras cidades da região. O objetivo do trabalho é roteirizar a frota de caminhões, maximizando sua utilização e elevando a produtividade no atendimento da demanda gerada. Este problema é comum em muitas empresas em vista do impacto direto que tem nos custos operacionais e logísticos. Assim, realizou-se uma pesquisa bibliográfica e documental, por meio da coleta de artigos e textos com experiências e resultados positivos e satisfatórios relacionados. Também, o sistema logístico da empresa e, os conceitos e métodos da pesquisa operacional foram utilizados para revolver o problema de roteamento de veículos. Na solução do problema, utiliza-se o algoritmo de Clarke & Wright (1964) para encontrar rotas próximas às soluções ótimas, diminuindo em muito os custos logísticos, a distância percorrida, tempo de entrega e número de rotas. Os resultados mostram uma redução nos custos logísticos da empresa.

Palavras-chave: Roteirização; logística; heurística; distribuição.

ABSTRACT

This paper studies the problem of routing of transport vehicles of a temperate glass industry, located in the city of Dourados-MS. In this problem, pieces of glass are produced and stored in the company and later transferred to final consumers, located in other cities in the region. The objective of the work is to route the fleet of trucks, maximizing their use and increasing productivity in meeting the demand generated. This problem is common in many companies in view of the direct impact it has on operational and logistical costs. Thus, a bibliographical and documentary research was carried out, through the collection of articles and texts with experiences and positive and related satisfactory results. Also, the company's logistics system, concepts and methods of operational research were used to revolve the problem of vehicle routing. In the solution of the problem, the algorithm of Clarke & Wright (1964) is used to find routes close to optimal solutions, greatly reducing logistics costs, distance traveled, delivery time and number of routes. The results show a reduction in the logistics costs of the company.

Keywords: Scripting; logistics; heuristic; distribution.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Mapa dos processos.....	15
Figura 2: Grafos ponderados representando um PRV.....	20
Figura 3: Estratégias para solução de PRV.....	21
Figura 4: Grafo ponderado inicial.....	23
Figura 5: Grafo ponderado com apenas uma rota.....	23
Figura 6: Comparação de configuração de grafos.....	24
Figura 7: Mapa simplificado com seis clientes e um depósito.....	25
Figura 8: Rotas resultantes da versão paralela.....	29
Figura 9: Rotas resultantes da versão sequencial.....	31

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Rotas, quantidades transportadas e distância.....	19
Tabela 2: Distâncias totais e economia das rotas.....	24
Tabela 3: Matriz De-Para das distâncias entre os grafos.....	26
Tabela 4: Quantidade recebida de produto por cliente.....	26
Tabela 5: Matriz De-Para das economias entre os grafos.....	26
Tabela 6: Economias em ordem decrescente.....	27
Tabela 7: Ligações resultantes da versão paralela do algoritmo.....	28
Tabela 8: Cidades com suas respectivas demandas médias.....	33
Tabela 9: Roteiros atualmente realizados.....	34
Tabela 10: Novos roteiros calculados.....	35
Tabela 11: Custos Logísticos para as rotas existentes.....	36
Tabela 12: Custos Logísticos para as novas rotas.....	36
Tabela 13: Cidades que sofrerão atraso.....	37

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	11
2. DESCRIÇÃO DA EMPRESA E DEFINIÇÃO DO PROBLEMA.....	13
2.1.A EMPRESA.....	13
2.1.1. História e Descrição da Empresa.....	13
2.1.2. Descrição do Processo.....	13
2.2.DEFINIÇÃO DO PROBLEMA.....	17
2.3.OBJETIVO DO TRABALHO.....	19
2.3.1. Objetivos Específicos.....	19
3. REVISÃO DA LITERATURA.....	20
3.1.PROBLEMA DE ROTEAMENTO DE VEÍCULOS.....	20
3.1.1. Definição e Contexto.....	20
3.1.2. Classificação dos Problemas.....	20
4. METODOLOGIA PROPOSTA PARA A SOLUÇÃO DO PROBLEMA.....	21
4.1.A HEURÍSTICA DE CLARKE & WRIGHT.....	22
4.2.EXEMPLO SIMPLIFICADO.....	25
4.2.1. Versão Paralela.....	27
4.2.2. Versão Sequencial.....	29
5. LEVANTAMENTO E ANÁLISE DOS DADOS.....	32
6. RESULTADO E COMPARAÇÕES.....	34
7. CONCLUSÃO E BENEFÍCIOS.....	37
REFERÊNCIAS.....	38
APÊNDICE – ROTAS ATUAIS E PROPOSTAS.....	40

1. INTRODUÇÃO

Esta pesquisa trata sobre o problema da roteirização de uma frota de veículos de uma indústria de vidros. Um problema comum que se apresenta em muitas empresas de manufatura. Em geral, no problema da roteirização e programação de veículos apresenta-se uma série de problemas, como por exemplo, no serviço de entrega e, eles são sujeitos a um conjunto de restrições, como por exemplo, relacionados com os veículos, consumidores e rotas. Nesses ambientes, apresenta-se produtos de diferentes tamanhos, formatos e especificações que exigem diferentes tipos de manuseio. As peças são acondicionadas em embalagens com a utilização de cavaletes, um método seguro de manter veículo e vidros bem protegidos e, posteriormente, são colocadas nos veículos para sua distribuição. O objetivo do problema consiste em roteirizar uma frota de veículos para o transporte de vidros, com o propósito de minimizar a distância percorrida. A capacidade dos veículos é conhecida, de forma que o número e peso das peças distribuídas em cada viagem é determinado. Existem uma série de restrições no problema apresentado que estão inseridos em cada variável que participa na modelagem do problema, como veículos, clientes e rotas.

Segundo Ballou (2001) a roteirização é uma atividade que tem por finalidade pesquisar as melhores rotas que um veículo deve fazer através de uma malha. Este processo de minimizar o tempo de operação e a distância percorrida pelas unidades móveis é frequentemente visualizado na tomada de decisão no planejamento logístico.

O planejamento logístico consiste em criar metodologias e estratégias com o objetivo de reduzir rotas, custos e otimizar processos. No planejamento deve-se especificar a rede de distribuição, fixar políticas de estoque e definir a forma de transporte dos produtos (MIURA, 2003).

Os custos logísticos na atividade de armazenagem, estoque, manuseio de materiais e embalagem, e transporte são muito significativos em uma empresa industrial. Segundo Bozer & Yen (1996), um sistema logístico mal estruturado é incapaz de atender as necessidades dos consumidores nas quantidades e no momento adequado e, por outro lado, pode causar ao sistema produtivo ociosidades no uso de equipamento, nas unidades de trabalho, elevando estoques no processo e, como consequência, falta de atendimento no prazo adequado.

O problema apresentado pode ser compreendido como um problema particular do problema de roteirização de veículos. Segundo Cunha (2000), esse tipo de problema pertence à categoria de problemas de alta complexidade e exigem muito processamento numérico para sua resolução, o que inviabiliza o uso de algoritmos exatos.

O problema em análise está inserido em um setor altamente competitivo e de produtos uniformes. Assim, o roteamento de veículos torna-se uma estratégia muito importante no mercado consumidor. Esse diferencial é visualizado no atendimento aos clientes, no menor tempo possível e com o menor custo que se refleti na margem de contribuição de cada produto na determinação do lucro da empresa.

Na vida real, as empresas utilizam procedimentos pouco práticos ou manuais para a determinação de suas rotas. Eles são baseados na experiência de operadores ou pelos encarregados de distribuição de materiais ou produtos terminados. As soluções obtidas por esses procedimentos são aproximadas e, em muitos casos tanto as rotas como as distâncias são superestimadas, além desse desbalanceamento nas rotas também se apresenta na carga de trabalho dos caminhões.

Este trabalho propõe utilizar a heurística de Clarke & Wright (1964) para a obtenção de uma solução para o problema. Assim será necessário analisar as rotas atuais, bem como a demanda média por cidade para posteriormente utilizar os conceitos e as ferramentas da pesquisa operacional, para traçar novas rotas, consideradas ótimas, de forma que seja possível propor melhorias futuras ao problema de roteamento de veículos da empresa DOURAGLASS Indústria de Vidros Temperados. Este problema foi justificado pela empresa em vista que os processos de abastecimentos devem ser reavaliados e novas estratégias também devem ser criadas na programação de rotas dos veículos de forma a gerir um melhor uso de recursos e garantir um bom atendimento.

O trabalho será dividido em seis capítulos. Inicialmente será dada uma introdução e logo após o primeiro capítulo é dedicado à descrição da empresa e seu processo de produção, bem como à apresentação do problema e definição do objetivo do presente trabalho. O segundo capítulo explora alguns conceitos teóricos sobre problemas de roteamento de veículos (PRV) e suas classificações. Já no terceiro capítulo, detalhamos o método a ser utilizado para a resolução do problema proposto, e apresentamos um exemplo prático com as variações destes. O capítulo 4 irá abordar o levantamento dos dados a serem utilizados como entrada ao modelo estudado. No capítulo 5, mostramos os resultados e comparações do modelo encontrado com o atual. Por fim, as conclusões do trabalho, bem como seus benefícios são expostos no capítulo 6.

2. DESCRIÇÃO DA EMPRESA E DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

Nesta parte será descrita a visão geral da empresa DOURAGLASS, bem como sua estrutura de funcionamento, seus processos e o mercado onde atua. Por fim será descrito o problema base e os objetivos a serem alcançados em sua resolução.

2.1. A EMPRESA

2.1.1. História e Descrição da Empresa

A DOURAGLASS Indústria e Comércio de Vidro Temperado é uma empresa do setor vidraceiro localizada na cidade de Dourados-MS, atuando no mercado desde 2008. Desde então vem atuando fortemente na industrialização e comercialização de vidros temperados, direcionados aos mercados da construção civil, decoração e indústria moveleira. (DOURAGLASS, 2017)

A fundação da empresa ocorreu em decorrência da família possuir uma vidraçaria na cidade de Dourados, porém o fornecedor de vidro temperado mais próximo, na época, era do Paraná, tornando sua aquisição cara e muitas vezes demorada.

Logo após algum tempo operando outros clientes tiveram interesse de adquirir seus produtos, então a empresa começou a vender para outras vidraçarias, investindo em maquinários avançados, contratando e qualificando mais funcionários, assim, ganhando porte e se estruturando aos poucos. Depois de suprir o mercado interno e ainda ter capacidade para operar a empresa passou a atender outras cidades próximas.

Hoje a empresa conta com uma fábrica de 11.000 m² de área construída, com um bom nível de automação em seus equipamentos e aproximadamente 100 colaboradores, distribuindo seus produtos para mais de sessenta cidades situadas em quatro estados brasileiros. Ela possui o certificado de conformidade do INMETRO para o vidro temperado, que é hoje o principal produto fabricado.

2.1.2. Descrição do Processo

A DOURAGLASS tem como atividade principal a fabricação de vidro temperado, o qual é obtido a partir de uma chapa vidro comum de 3,2 x 6 m, onde este é cortado, lapidado e furado conforme o projeto de cada cliente (*Make to Order*) e logo após passa por um tratamento térmico para modificar a estrutura cristalina do material. Este tratamento térmico aumenta a resistência em aproximadamente cinco vezes, além disso, quando se quebra o vidro temperado

este fragmenta em pequenos pedaços arredondados e pouco cortantes, o que lhe confere o título de vidro de segurança.

Como boa parte das aplicações de vidros na construção civil são projetos exclusivos, a empresa trabalha quase exclusivamente com a produção puxada, fabricando apenas algumas medidas de box e janelas padrões para estoques. Em decorrência disso existe uma grande preocupação em atender aos projetos de cada cliente seguindo as especificações exigidas e cumprindo os prazos estipulados.

Cada região de entrega conta com um prazo para enviar seus pedidos com as devidas especificações de cor, espessura, furações e quaisquer observações, recebendo seus produtos uma semana depois do fim deste prazo.

Após concretizada a compra pelo cliente, o pedido é então digitado no software ERP (*Enterprise Resource Planning*/ Sistema de Gestão Empresarial) pelas consultoras, conferidos e aprovados, depois será unificado pelo setor de PCP (Planejamento e Controle da Produção) de acordo com sua cor e espessura para que possa ser feita a devida otimização da chapa de vidro, visando a menor perda de matéria prima. Então, depois de liberado pelo setor de PCP, as otimizações são enviadas para a produção já com todos os detalhes e as fases que cada peça passará.

Apesar de a empresa fabricar a maioria dos seus produtos sob encomenda, o fluxo dos processos é similar para todas as famílias de produtos como pode ser observado na Figura 1:

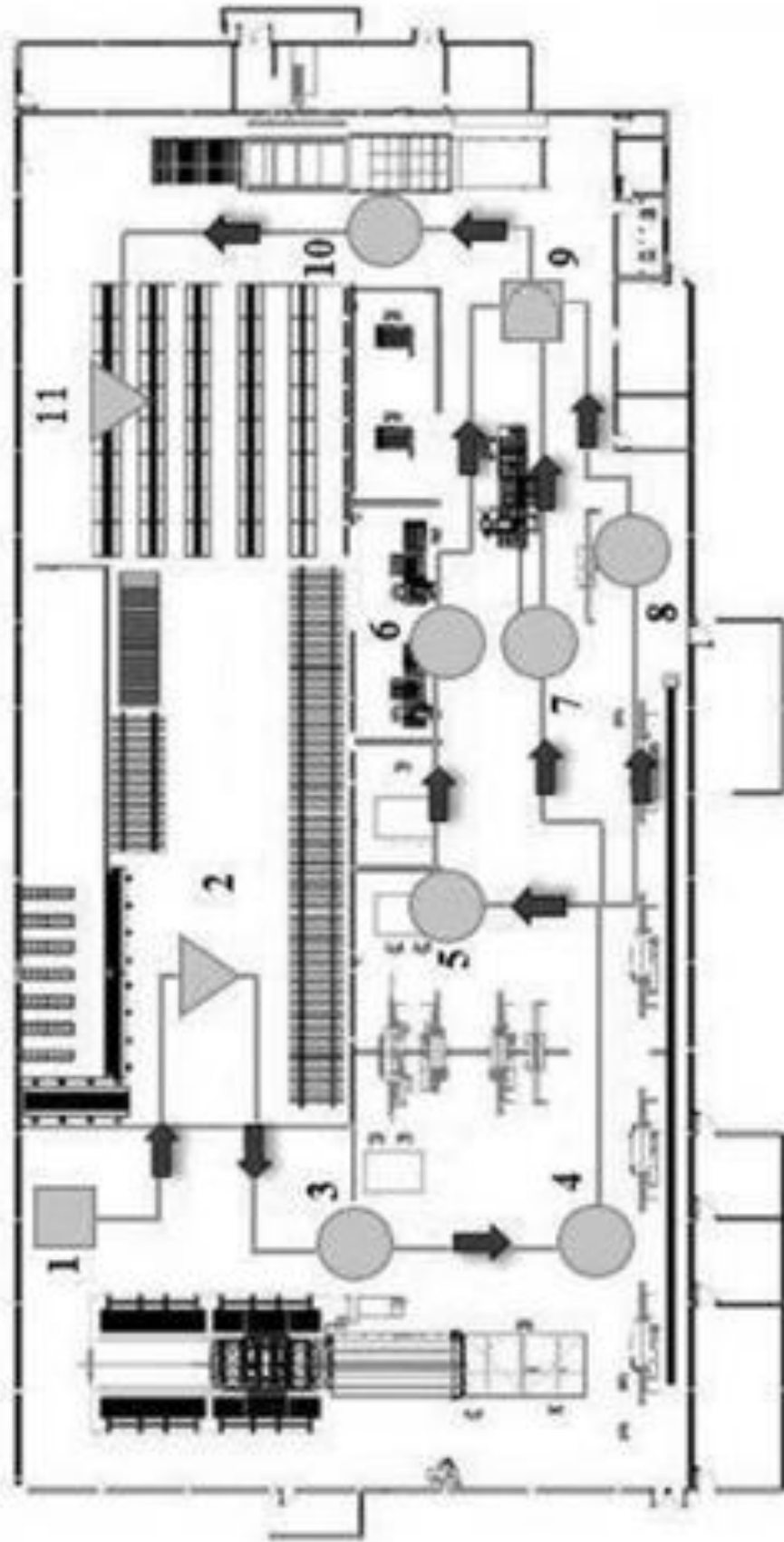


Figura 1: Mapa dos processos (adaptado de SILVA, 2016).

1. Recepção e Inspeção de Chapas

Toda semana são recebidos no mínimo dois caminhões de matérias primas, as quais são inspecionadas para se evitar qualquer defeito no produto que possa gerar falha ou um produto não conforme.

3. Corte

Aqui são recebidas via computador as otimizações de chapa, que são lidas e marcadas na chapa. Logo após, a chapa marcada é deslizada para uma segunda mesa onde é destacado cada peça e separado conforme sua urgência.

4. Lapidação

Esta etapa é alimentada de forma manual, mas após funciona totalmente automatizado onde o vidro segue puxado por uma esteira, passando por uma lapidadora que desbasta um de seus lados, depois passa por um *tornover* que gira a peça em 90°, que segue para outra lapidadora e assim sucessivamente até lapidar todos os lados.

5. Marcação

Quando o projeto conta com furos especiais, muito próximos da borda, projeto da peça conta com molde ou é um espelho, a peça é primeiramente marcada e então enviada para a furação manual.

6. Furação Manual

Com a peça já marcada o operador identifica o diâmetro do furo, substitui a broca da furadeira e realiza a furação, logo após a peça é levada para a lavadora vertical.

7. Furação Automática

Quando a peça conta com furos simples, esta segue para uma furadeira automática, que assim como a máquina de corte, lê o projeto, mede e faz toda a furação automaticamente,

levando a peça no fim deste processo para uma lavadora horizontal (anexo a furadeira automática).

8. Lavação

O processo de lavação é crucial para evitar não conformidade nas peças, pois nele são retirados qualquer resíduo ou sujeira que possa ter se fixado a peça nos processos anteriores. Tais resíduos podem se transformar em manchas, ondulações ou corpo estranho, se aderindo ao vidro no processo de têmpera.

As peças sem furações e as que tiveram furações manuais passam por uma lavadora vertical, enquanto as peças que passam por furação automática vão diretamente para a lavadora horizontal.

9. Inspeção

Antes do processo de têmpera todas as peças são inspecionadas para garantir a conformidade com o projeto do cliente, pois após este processo não será possível fazer nenhuma alteração da peça. Então as peças são separadas por espessura, pois cada medida requer um tempo diferente de forno e de resfriamento.

10. Têmpera

Nesse processo o vidro é aquecido a uma temperatura média de 650°C, sofrendo uma diminuição brusca de sua temperatura, fazendo com que o vidro mantenha uma estrutura cristalina mais resistente mecanicamente.

11. Armazenamento

Após a produção cada peça é separada em cavaletes conforme a região de entrega e espera a data da expedição de sua rota.

2.2. DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

A empresa em estudo é uma organização composta pelos integrantes de uma família. Observa-se que a maioria das decisões são tomadas sem gerar um benefício produtivo e econômico para a empresa. Elas são baseadas em experiências passadas sem fundamento

tecnológico e científico. Neste sentido, abre-se caminho para realizar pesquisas e utilizar as ferramentas da pesquisa operacional, mas especificamente as heurísticas do Problema do Caixeiro Viajante, com o objetivo de otimizar o processo de distribuição de mercadorias e minimizar custos sem perder a qualidade do serviço prestado. Esse problema é conhecido como roteirização.

O problema da roteirização é muito mais abrangente que um problema de transporte. Isto é, o tempo que um produto está em trânsito influencia o estoque na cadeia de distribuição e, também se refleti no número de embarques que um veículo pode realizar em determinado período, assim uma boa seleção de rotas pode melhorar o nível de serviço prestado ao cliente. Estas considerações feitas por Ballou (2001) demonstram a abrangência do potencial impacto da roteirização.

Na análise do sistema logístico da empresa foi identificado que as rotas de entrega foram traçadas de maneira simples, onde a maioria dos caminhões faz sua rota entregando os produtos em cada cidade que pertence à aquele romaneio e sua última entrega é para a cidade mais distante, fazendo assim que o caminhão percorra todo o caminho de volta vazio.

No processo de distribuição de mercadorias observa-se que os caminhões de menor capacidade são aqueles que realizam as rotas mais longas, fazendo essa atividade impactar diretamente nos custos operacionais. Esse problema é muito comum em muitas empresas de manufatura de pequeno porte e de bens de consumo.

Observa-se também que a empresa faz entregas a mais ou menos sessenta cidades e conta com poucos caminhões, seis caminhões *truck*, um toco e um baú, dificilmente um caminhão permanece mais de um dia na empresa, tendo que finalizar a entrega em até dois dias para não ultrapassar o prazo prometido ao cliente, tornando a alteração das rotas um problema complexo e impossibilitando a experimentação. Por isso, existe uma ociosidade considerável no uso dos veículos. Porém, é importante ressaltar que algumas cidades contam com diversas entregas de poucos produtos, o que pode ocasionar atrasos ou extravio de peças.

Assim, o objetivo deste trabalho consiste em encontrar rotas ótimas de modo a minimizar a distância percorrida, os custos de transporte e o tempo de entrega.

A seguir, na Tabela 1, estão listadas as regiões que a empresa opera, bem como a quantidade média transportada por semana e a distância percorrida. Nele podemos observar que a rota de Alta Paulista (AP) percorre uma das maiores distâncias, porém a carga transportada é uma das mais baixas:

N°	Região	Quantidade média transportada (semana)	Distância
1	Mato Grosso (MT)	8.631,87 kg	1.553 km
2	Campo Grande (CG)	10.769,32 kg	535 km
3	Alta Paulista (AP)	3604,74 kg	1.807 km
4	Oeste Paulista (OP)	6.885,94 kg	1.091 km
5	Goiás 1 (GO 1)	8.675,57 kg	1.871 km
6	Goiás 2 (GO 2)	9.188,82 kg	1.676 km
7	Bonito (BN)	1.737,12 kg	639 km
8	Mundo Novo (MN)	2.957,89 kg	560 km

Tabela 1: Rotas, quantidades transportadas e distância. (Elaborado pelo autor)

2.3. OBJETIVO DO TRABALHO

O objetivo do trabalho consiste em roteirizar a frota de caminhões, maximizando sua utilização e garantido o atendimento da demanda gerada pela linha de produção de uma indústria de vidros temperados.

2.3.1. Objetivos Específicos

- Realizar uma pesquisa bibliográfica sobre o problema da roteirização e as experiências ou aplicações sobre as possíveis soluções no problema de distribuição;
- Identificar e analisar as características das rotas de distribuição da empresa;
- Analisar as rotas da empresa sob o ponto de vista da logística com objetivo de maximizar os parâmetros que quantificam o problema da distribuição;
- Aplicar a heurística de Clarke & Wright (1964) aos dados encontrados com o objetivo de buscar estratégias de melhorias do modelo e dos resultados alcançados.

3. REVISÃO DA LITERATURA

O problema a ser solucionado neste trabalho trata-se de um Problema de Roteamento de Veículos (PRV). Para tanto, iniciaremos definindo e conceituando o problema de roteamento de veículos e logo após serão classificados os tipos de problemas.

3.1. PROBLEMA DE ROTEAMENTO DE VEÍCULOS

3.1.1. Definição e Contexto

O Problema de Roteamento de Veículos é um problema de grande importância estratégica e de difícil solução computacional, e por isso vem sendo estudado há várias décadas por pesquisadores de todo o mundo. Pode ser descrito da seguinte forma: dado um depósito de abastecimento e vários clientes ligados ao depósito e entre si através de vários caminhos com custos diferentes, descobrir a melhor rota a ser empreendida por um veículo, que saia do depósito, passe por todos os clientes e retorne com o menor custo possível (HEINEN, 2005)

Cormen et al. (2002) defende que a forma mais comum de se representar o PRV é através de grafos ponderados, onde o zero representa o depósito e os demais nós representam os clientes a serem atendidos, como ilustra a Figura 2:

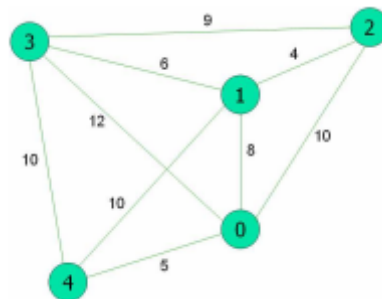


Figura 2: Grafos ponderados representando um PRV. (HEINEN, 2005)

3.1.2. Classificação dos Problemas

Para um pequeno número de clientes é viável analisar cada combinação de rotas, porém a medida que vão aumentando os nós (clientes) vai se tornando impossível a análise de todas as possibilidades por se tratar de um problema de complexidade de tempo exponencial – $O(c^n)$, onde c é uma constante e n é o número de nós a serem analisados (HEINEN, 2005).

Os problemas de roteamento de veículos variam quanto a sua complexidade dependendo do número de variáveis e restrições que o problema considera em sua formulação. Alguns problemas podem ser considerados quanto a sua complexidade como intratáveis (MIURA,

2003). Como o problema está na natureza combinatória desse tipo de problema, ainda não foi possível desenvolver um algoritmo eficiente para garantir uma solução exata. Segundo Cormen et al. (2002), esses problemas que crescem exponencialmente com o tamanho do problema são classificados como NP-Completo.

Pelo fato de o PRV não possuir uma solução exata em tempo polinomial, para que ele possa ser solucionado outras estratégias devem ser utilizadas, como por exemplo as heurísticas de aproximação (OLIVEIRA, 2004). As estratégias para solução de PRV podem ser observadas na Figura 3:

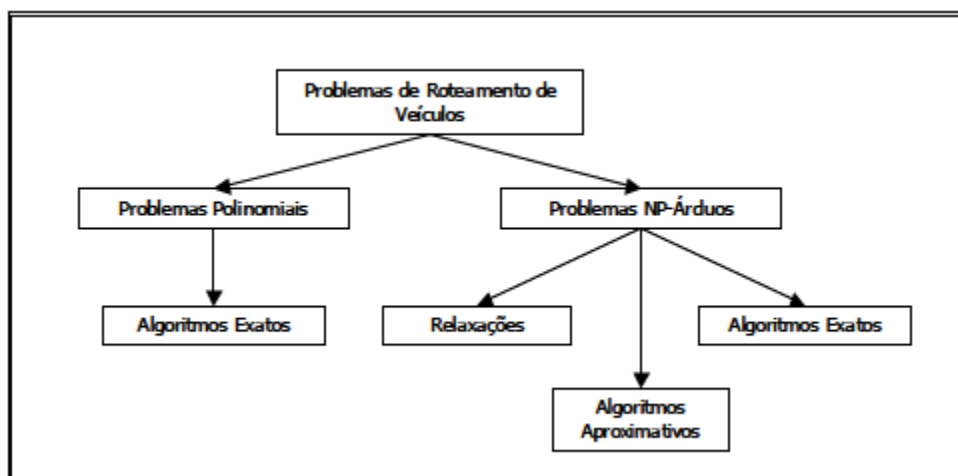


Figura 3: Estratégias para solução de PRV. (GOLDBARG & LUNA, 2000).

Para os problemas NP-Completo, também chamados de NP-Árduos, de pequena complexidade e poucas restrições pode-se utilizar técnicas de relaxações eliminando algumas variáveis ou restrições do problema, tornando possível a aplicação de algoritmos exatos. Já para a maioria dos sistemas complexos só é possível aplicar algoritmos aproximativos, no qual, a partir de simplificações, resulta numa solução muito próxima da ótima.

4. METODOLOGIA

Após uma busca na literatura foi identificado que o algoritmo que mais se adequa ao nosso problema corresponde à heurística de Clarke & Wright (1964), amplamente utilizada na resolução deste tipo de problema.

Na primeira parte deste capítulo será descrito toda a heurística, método de investigação baseado na aproximação progressiva de um dado problema, bem como as restrições consideradas no problema e logo após será desenvolvido um modelo simplificado para melhor entendimento da iteração do algoritmo.

4.1. A HEURÍSTICA DE CLARKE & WRIGHT

A heurística de Clarke & Wright foi um dos primeiros algoritmos a serem propostos para solucionar o problema de roteamento de veículos. E foi muito importante em sua época, servindo de base para outros algoritmos mais sofisticados que surgiram mais tarde (HEINEN, 2005).

Segundo Miura (2003), trata-se de um modelo heurístico do tipo *saving* (economia) que busca substituir arcos mais caros dentro da rota por arcos de menor custo, de forma a sempre melhorar a rota existente.

Segundo Ballou (1985) apud MIURA (2003), a utilização deste algoritmo em problemas com um número limitado de restrições pode resultar em soluções próximas a 2% em relação à solução ótima.

A função objetivo busca minimizar os custos totais de distribuição, a distância total percorrida e o número de veículos utilizados, enquanto as restrições consideradas, segundo PUC-RIO (2017), podem ser classificadas da seguinte forma:

Restrições dos veículos

- Limite de capacidade dos veículos;
- Limite com relação ao tipo de carga dos veículos – existe uma especialização dos veículos para transporte de granéis sólidos, granéis líquidos, carga paletizada, etc;
- Operação de carga e descarga dos veículos;
- Número e tipo de veículos disponíveis.

Restrições com os clientes

- Agenda de horário para recebimento/coleta;
- Atendimento total ou parcial das demandas;
- Tempo máximo permitido para carga e descarga;
- Necessidade ou restrição de serviço em algum dia específico da semana;
- Disponibilidade de área para estacionamento do veículo.

Restrições das rotas

- Horário de início e término das viagens;
- Tempo máximo de viagem de um veículo;
- Distância máxima percorrida;
- Locais de parada fixas etc.

O algoritmo funciona da seguinte forma: um grafo ponderado representando os clientes (A e B) e o depósito (D) é escrito na forma de uma matriz de adjacência, em seguida são traçadas uma rota para cada cidade, partindo e retornando do depósito como pode ser observado na Figura 4:

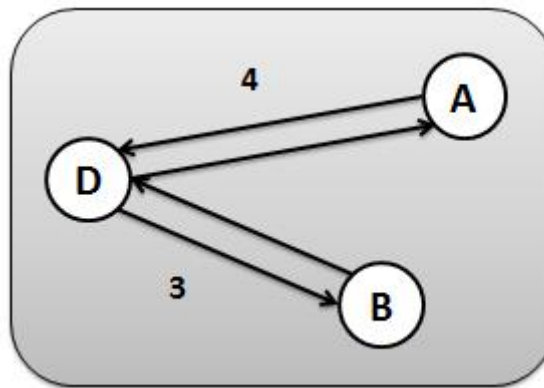


Figura 4: Grafo ponderado inicial. (Elaborado pelo autor)

Como pode-se observar a distância total percorrida é calculada a partir da Equação 1, onde a unidade a ser considerada varia de acordo com o problema a ser estudado:

$D = 2 \cdot (d_{DA} + d_{DB})$	(1)
$D = 2 \cdot (3 + 4) = 14$	

Desse modo teríamos que percorrer duas rotas com dois veículos, gerando um aumento no número de veículos necessários e conseqüentemente o custo de distribuição, ou executar uma rota para depois executar a segunda rota com o mesmo caminhão, gerando um gasto maior em tempo. Para evitar isso é interessante estudar a possibilidade de se unir as duas rotas conforme a Figura 5:

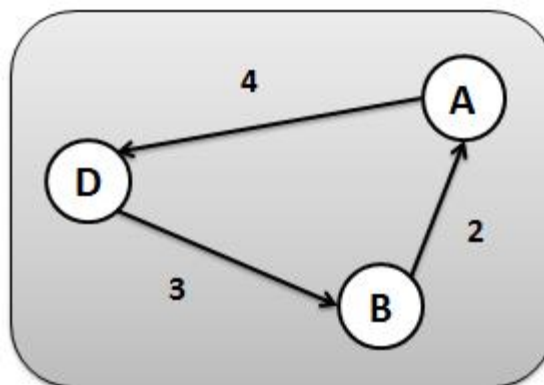


Figura 5: Grafo ponderado com apenas uma rota. (Elabora pelo autor)

Então calculamos a economia gerada devido a alteração das rotas a partir da Equação 2:

$E_{AB} = d_{DA} + d_{DB} - d_{AB}$	(2)
$E_{AB} = 4 + 3 - 2 = 5$	

Apesar de a distância total percorrida ser igual 7, quando calculamos as economias por meio da fórmula 2 é possível fazer uma comparação mais coerente entre as rotas, de forma que duas cidades distantes do depósito, porém próximas entre si, gera um número grande, enquanto duas cidades próximas do depósito, porém distantes entre si, gera um número menor. Para exemplificar, tal comparação pode ser observada na Figura 6, onde pode-se visualizar que é interessante unir a rota (a), enquanto rota (b) não é tão interessante, os cálculos encontram-se na Tabela 2:

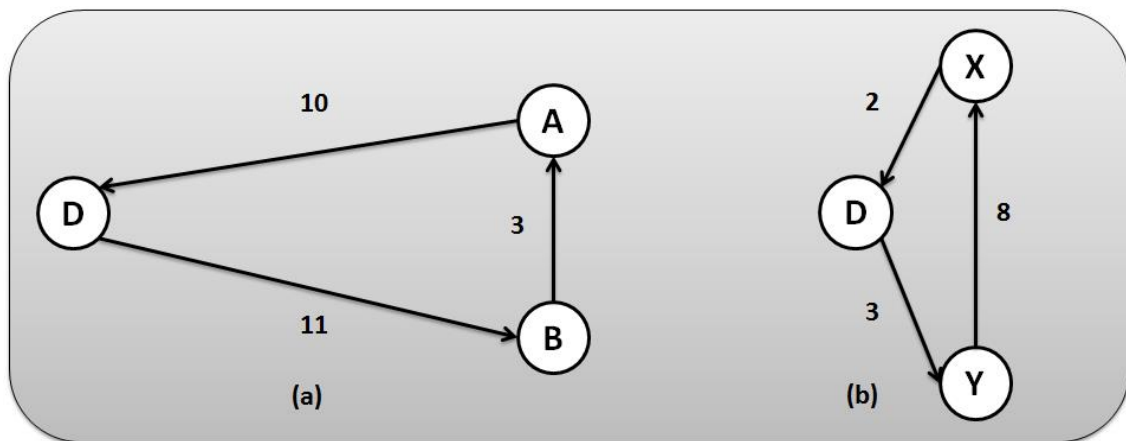


Figura 6: Comparação de configuração de grafos. (Elaborado pelo autor)

Com 2 rotas: $D_{AB} = 2 \cdot (10 + 11) = 42$	Com 2 rotas: $D_{XY} = 2 \cdot (2 + 3) = 10$
Com apenas uma rota: $D_{AB} = 11 + 3 + 10 = 24$	Com apenas uma rota: $D_{XY} = 3 + 8 + 2 = 13$
$E_{AB} = 10 + 11 - 3 = 18$	$E_{XY} = 2 + 3 - 8 = -3$

Tabela 2: Distâncias totais e economia das rotas. (Elaborado pelo autor)

Visto isso, para mais nós, é elaborado uma matriz de adjacências contendo as distâncias para cada par de cidades e depois, a partir desta, elaborada uma nova matriz de adjacências contendo as economias de se unir cada par em uma única rota. Esta última matriz tem seus números ordenados em ordem decrescente e então o modelo de Clarke & Wright permite duas formas de resolução: versão paralela que busca a melhor união factível e a versão sequencial que realiza a extensão máxima de uma rota. Miura (2003) descreve estas versões da seguinte forma:

- Versão Paralela
 - a) Começar pelo topo da lista de economias;
 - b) Se ligando os pares resulta numa rota possível, considerando-se as restrições do problema, adicione a rota, caso contrário, elimine;
 - c) Enquanto houver economias, efetuar o segundo passo, caso contrário ir para o próximo item;
 - d) Fim da iteração.
- Versão Sequencial
 - a) Começar pelo topo da lista de economias;
 - b) Se ligando os pares de nó A e B resultam numa rota possível, considerando-se as restrições do problema, faça a união;
 - c) Fixar a rota contendo A e B unidos no item anterior;
 - d) Identifique os pontos extremos da rota fixada e armazene-os nas variáveis k e l ; (Por exemplo, $A = k$ e $B = l$)
 - e) Determinar a primeira economia (E_{Ak} , E_{kB} , E_{Al} ou E_{lB}) da lista que pode ser utilizada para estender a rota fixada. Se atentando que a rota a ser unida a rota fixada deve necessariamente começar com $(0,k)$ ou $(0,l)$ ou terminar com $(k,0)$ ou $(l,0)$. Se for impossível estender a rota fixada vá para o item (g);
 - f) Fazer a união dos nós identificados e retorne ao item (d);
 - g) Volte para o topo da lista de economias e identifique a primeira economia que gere uma união possível. Se nenhuma economia for encontrada vá para o item (i);
 - h) Faça a união dos nós identificados e fixe a rota que contenha os nós. Retorne ao item (d);
 - i) Fim da iteração.

4.2. EXEMPLO SIMPLIFICADO

Para tornar o algoritmo mais claro, considere um exemplo fictício com 7 grafos, como mostra a Figura 7:

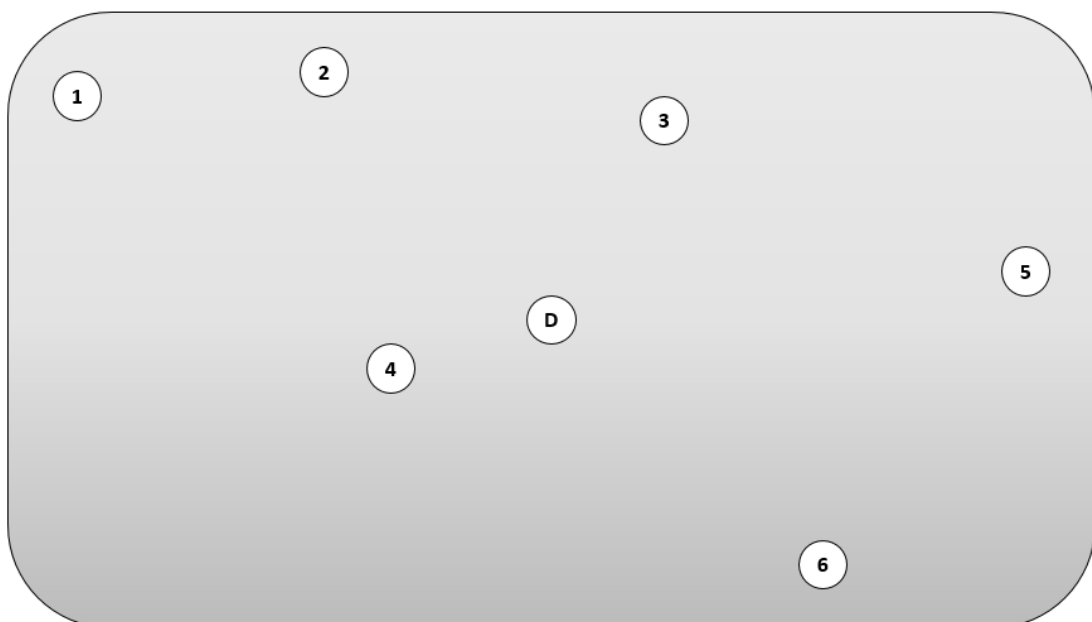


Figura 7: Mapa simplificado com seis clientes e um depósito. (Elaborado pelo autor)

Através do mapa obtém-se as distâncias entre as cidades (n^{os}) e o depósito (D), mostrados na Tabela 3:

Distância(km)		Para						
		D	1	2	3	4	5	6
De	D		5,3	3,4	2,3	1,2	4,3	3,7
	1	5,3		2,5	5,9	4,2	9,2	8,9
	2	3,4	2,5		3,5	3	7,9	7,1
	3	2,3	5,9	3,5		3,7	3,9	4,7
	4	1,2	4,2	3	3,7		6,5	4,7
	5	4,3	9,2	7,9	3,9	6,5		3,6
	6	3,7	8,9	7,1	4,7	4,7	3,6	

Tabela 3: Matriz De-Para das distâncias entre os grafos. (Elaborado pelo autor)

Na Tabela 4 considerar as cargas que cada nó (cidade) deve receber:

	1	2	3	4	5	6
Recebe (Kg)	332	124	237	54	225	274

Tabela 4: Quantidade recebida de produto por cliente. (Elaborado pelo autor)

Restrições do problema:

- Capacidade de cada veículo: 750 kg
- Distância máxima da rota: 15 km.

Considerando a solução inicial como a formação de 6 rotas, uma para cada cidade e aplicando os cálculos das economias de Clarke & Wright ($E_{AB} = d_{DA} + d_{DB} - d_{AB}$) para cada pares de nós, obtém-se a Tabela 5:

Distância		Para						
		D	1	2	3	4	5	6
De	D							
	1			6,2	1,7	2,3	0,4	0,1
	2		6,2		2,2	1,6	-0,2	0
	3		1,7	2,2		-0,2	2,7	1,3
	4		2,3	1,6	-0,2		-1	0,2
	5		0,4	-0,2	2,7	-1		4,4
	6		0,1	0	1,3	0,2	4,4	

Tabela 5: Matriz De-Para das economias entre os grafos. (Elaborado pelo autor)

Como o quadro anterior se trata de economias, quanto maior o valor encontrado, maior o benefício da união entre estes nós (grafos), ordenamos, então, as economias de forma

decrecente obtendo a Tabela 6. Note que os números negativos geram um aumento nos custos, por isso serão os últimos pares a serem avaliados.

De	Para	E_{AB}
1	2	6,2
5	6	4,4
3	5	2,7
1	4	2,3
2	3	2,2
1	3	1,7
2	4	1,6
3	6	1,3
1	5	0,4
4	6	0,2
1	6	0,1
2	6	0
2	5	-0,2
3	4	-0,2
4	5	-1

Tabela 6: Economias em ordem decrescente. (Elaborado pelo autor)

Assim, o problema pode ser resolvido de duas formas. A primeira denominada de paralela e a segunda de sequencial e, posteriormente, são comparadas para decidir qual método é mais eficiente na resolução do problema.

4.2.1. Versão Paralela

Iniciando pelo topo da lista, começaremos ligando as rotas respeitando as restrições imposta. O primeiro par a ser avaliado é entre os nós 1 e 2. Como a união é factível, respeitando a carga máxima ($456\text{kg} < 750\text{kg}$) e a distância máxima ($11,2\text{km} < 15\text{km}$), a nova rota passa a ser D-1-2-D.

Rota 1: D-1-2-D

Carga total: 456kg

Distância total: 11,2km

O próximo par a ser considerada é entre os nós 5 e 6. Que da mesma forma que o primeiro gera uma união factível, gerando uma segunda rota D-5-6-D.

Rota 2: D-5-6-D

Carga total: 499kg

Distância total: 11,6km

Continuando a lista, estudaremos o par de nós 3 e 5. O que leva a inferir a união do nó 3 à Rota 2. Como a carga total da rota ($736\text{kg} < 750\text{kg}$) e a distância ($13,5\text{km} < 15\text{ km}$) não violam as restrições do problema, a nova Rota 2 torna-se:

Rota 2: D-3-5-6-D

Carga total: 736kg

Distância total: 13,5km

Fazendo o mesmo processo para os demais nós, seguindo a ordem da lista e as restrições, tem-se a tabela 7:

Ligação	Operação
1 e 2	Factível (Rota 1: D-1-2-D)
5 e 6	Factível (Rota 2: D-5-6-D)
3 e 5	Factível (Rota 2: D-3-5-6-D)
1 e 4	Factível (Rota 1: D-4-1-2-D)
2 e 3	Inviável (criação de subrota)
1 e 3	Inviável (criação de subrota)
2 e 4	Inviável (revisita nó 2)
3 e 6	Inviável (revisita nó 3)
1 e 5	Inviável (criação de subrota)
4 e 6	Inviável (criação de subrota)
1 e 6	Inviável (criação de subrota)
2 e 6	Inviável (criação de subrota)
2 e 5	Inviável (criação de subrota)
3 e 4	Inviável (criação de subrota)
4 e 5	Inviável (criação de subrota)

Tabela 7: Ligações resultantes da versão paralela do algoritmo. (Elaborado pelo autor)

Conclusão dos roteiros formados:

➤ Rota 1: D-4-1-2-D

Carga total: 510kg

Distância total: 11,3km

- Rota 2: D-3-5-6-D
- Carga total: 736kg
- Distância total: 13,5km

Note que não foi possível ligar o nó 3 a nenhuma das rotas existentes, logo ele terá uma rota exclusiva. Assim, o algoritmo resolvido pela forma paralela resultou em três rotas com distância total de 24,8km.

A Figura 8 apresenta as rotas formadas pela versão paralela do algoritmo:

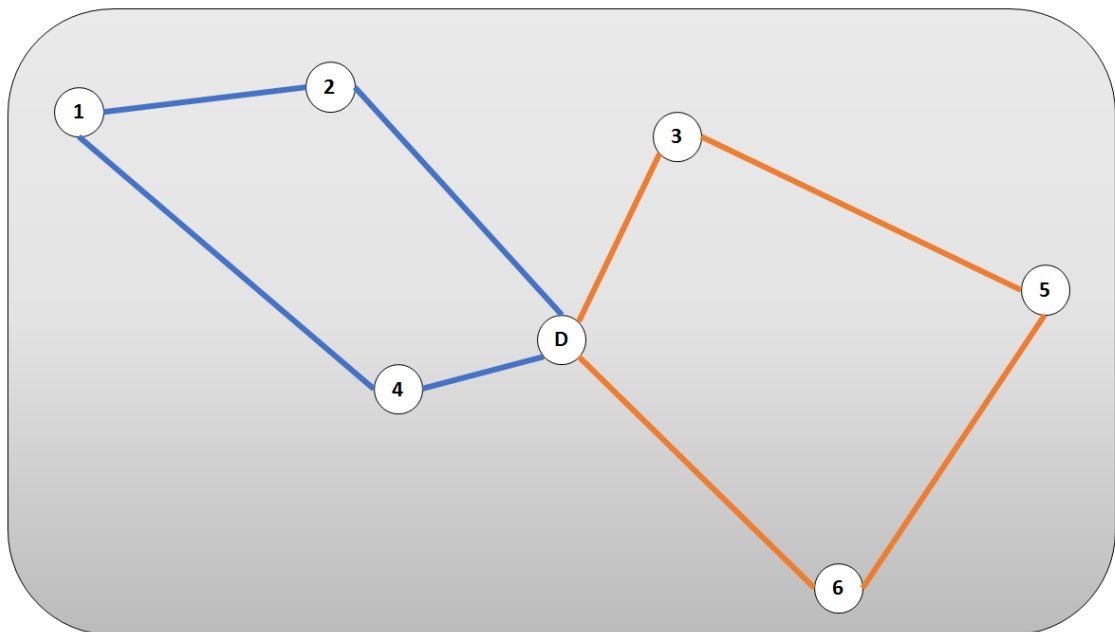


Figura 8: Rotas resultantes da versão paralela. (Elaborado pelo autor)

4.2.2. Versão Sequencial

Na versão sequencial iremos iniciar pelo topo da lista e identificar a primeira união factível, assumi-la como rota atual e tentar expandi-la ao máximo, respeitando as restrições de carga e distância máximas.

O primeiro par de nó é 1 e 2, formando:

Rota atual: D-1-2-D

Extremos: 1 e 2

Carga total: 456kg

Distância total: 11,2km

O próximo par que contém um dos extremos é 1 e 4. Resultando na mesma rota da primeira versão:

Rota atual: D-4-1-2-D

Extremos: 4 e 2

Carga total: 510kg

Distância total: 11,3km

Adiante temos o par 2 e 3 que também resulta numa união factível:

Rota atual: D-4-1-2-3-D

Extremos: 4 e 2

Carga total: 510kg

Distância total: 13,7km

Na sequência temos o par 4 e 2, que são os extremos, depois os pares 4 e 6, 2 e 6, 2 e 5 e 4 e 5 que violariam a restrição de distância máxima, terminando assim a rota atual e nomeando esta de Rota 1. Os nós remanescentes são 5 e 6 que formaram outra rota. Logo, pela versão sequencial teremos:

- Rota 1: D-4-1-2-3-D
Carga total: 510kg
Distância total: 13,7km
- Rota 2: D-5-6-D
Carga total: 499kg
Distância total: 11,6km

Assim, o algoritmo resolvido pela forma sequencial resultou apenas duas rotas com distância total de 25,3km.

A figura 9 apresenta as rotas formadas pela versão sequencial do algoritmo:

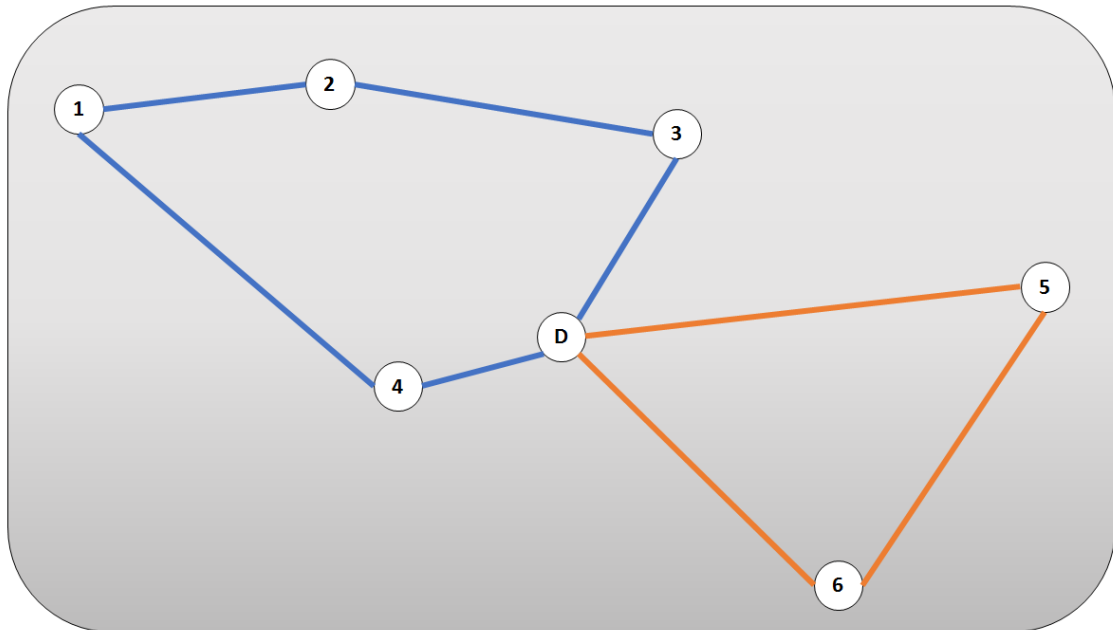


Figura 9: Rotas resultantes da versão sequencial. (Elaborado pelo autor)

Como pode ser evidenciado pelo exemplo, onde resultou numa distância total de 24,8km para versão paralela e 25,3km para a versão sequencial, normalmente a forma paralela gera soluções de menor custo do que a versão sequencial, tal resultado também é confirmado pela literatura. Isso se deve pelo fato da versão sequencial fixar uma rota e tentar expandi-la ao máximo, otimizando a utilização da capacidade do veículo e diminuindo a quantidade de rotas, o que, por outro lado, pode aumentar em demasia a quantidade de nós visitados, aumentando o esforço e tempo de trânsito do motorista e podendo atrasar entregas dos últimos nós visitados pela rota.

Visto isso, a escolha entre uma versão ou outra deve ser feita através de uma análise criteriosa sobre as prioridades, restrições e objetivos do estudo. Vale ressaltar que, por não se tratar de um algoritmo exato, a melhor solução pode variar entre as versões dependendo do problema e, segundo Miura (2003), em muitos casos os resultados obtidos pelas duas versões podem até ser idênticos.

Como o objetivo principal do estudo é a redução de custos, será trabalhado com a versão paralela do algoritmo de Clarke & Wright.

5. LEVANTAMENTO E ANÁLISE DOS DADOS

Neste tópico será discutido os dados relevantes coletados, bem como suas fontes.

Os dados coletados foram:

- Dados de romaneios (nº do romaneio, região atendida e peso);
- Distâncias entre as cidades de entrega;
- Capacidade média dos caminhões;
- Sequência das cidades visitadas na situação real.

Inicialmente foi identificado no software ERP (GlassControl) utilizado pela empresa, as rotas em operação bem como as cidades visitadas. Logo após foi estudado uma maneira mais prática para a construção de uma matriz de/para contendo as distâncias em quilômetros entre cada uma das 60 cidades coletadas. Foi encontrado um algoritmo que calcula as distâncias usando a latitude e longitude, porém este método pareceu pouco eficaz, uma vez que apenas considera distâncias em linha reta, tendo que ser inserido um fator de correção para melhor aproximação, tornando o cálculo um tanto quanto tendencioso. Logo, foi optado pela busca exaustiva no programa Google Maps afim de preencher toda a matriz.

De posse desses dados, o próximo passo foi buscar a quantidade média entregue em cada cidade, número de nós, distância percorrida e carga média transportada por rota. Para isso foi coletado todos os romaneios dos últimos 4 meses e feito uma média de entrega por viagem, onde foi evidenciado uma disparidade entre as cidades inseridas no GlassControl e as cidades realmente visitadas em cada rota. Em vista disso, após os cálculos foi refeita a matriz de/para contemplando a situação real.

Por fim foram coletados a quantidade e capacidade dos veículos disponíveis na empresa:

- 6 caminhões truck com capacidade de até 14.500 kg;
- 1 caminhão toco com capacidade de até 8.000 kg;
- 1 caminhão baú com capacidade de até 3.500 kg.

Não foram coletados dados como velocidade média do veículo, tempo de parada para descarregar ou tempo de expediente dos motoristas pois a empresa não faz um rigoroso controle destas variáveis, apenas preza que as entregas não ultrapassem 3 dias para evitar atrasos no prazo dado ao cliente.

Desse modo foram analisadas as rotas e retirada da pesquisa as rotas de Bonito e Mundo Novo, por serem regiões mais afastadas das demais, menores e que podem ser atendidas pelos dois caminhões menores (de 3.500 kg e 8.000 kg). A rota de Rio Verde (Goiás 2) também não será alterada por exigência dos clientes.

As cidades foram listadas na Tabela 8:

	Cidades	Kg
0	Dourados	-
1	Andradina	307,83
2	Bataguassu	292,82
3	Camapuã	19,69
4	Campo Grande	9.253,51
5	Cassilândia	774,70
6	Chapadão do Sul	989,59
7	Costa Rica	600,23
8	Coxim	408,78
9	Dracena	240,66
10	Fernandópolis	996,14
11	Ivinhema	2,23
12	Jales	75,82
13	Jataí	2.292,19
14	Maracaju	1.084,16
15	Mineiros	80,01
16	Nova Alvorada do Sul	124,98
17	Nova Andradina	2.199,42
18	Paranaíba	1.314,02
19	Rio Brillhante	100,87
20	Rio Verde de Mato Grosso	69,41
21	Rio Verde	3.496,79
22	Rondonópolis	716,21
23	Santa Fé do Sul	385,16
24	São Gabriel do Oeste	274,09
25	Sonora	359,91
26	Terenos	3,36
27	Três Lagoas	2.997,55
28	Angélica	12,23
29	Aparecida do Taboado	142,89
30	Chapadão do Céu	393,63
31	Deodópolis	239,80
32	Fátima do Sul	152,88
33	Gloria de Dourados	347,26
34	Inocência	133,60
35	Iturama	394,70
36	S. J. Rio Preto	89,58
37	Santo Anastácio	4,37
38	Serranópolis	34,80
39	Sidrolândia	135,60

Tabela 8: Cidades com suas respectivas demandas médias. (Elaborado pelo autor)

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A situação real é apresentada com seus dados e logo, são comparadas com novas rotas desenvolvidas pelo algoritmo.

Como se pode observar nas Tabela 9 e 10, as principais diferenças entre a situação real e o simulada é a união das rotas MT e GO 1 tornando-se a rota Goiás e das rotas AP e OP tornando-se a rota Paulista. Com isso, cada rota passa por um número maior de cidades, fazendo com que diminua a quantidade de viagens e explorando melhor a capacidade dos caminhões.

Roteiro - Situação real	
Roteiro MT: 0 - 4 - 16 - 19 - 39 - 8 - 22 - 24 - 20 - 26 - 25 - 0	
Nº de pontos:	10
Carga média transportada:	8.631,87 kg
Distância Total:	1.553 km
Obs.:	
Roteiro CG: 0 - 4 - 26 - 16 - 19 - 39 - 0	
Nº de pontos:	5
Carga média transportada:	10.769,32 kg
Distância Total:	535 km
Obs.: Rota visitou Rondonópolis 41% das vezes, mesma rota de MT. Até 2 vezes na semana.	
Roteiro AP: 0 - 36 - 18 - 23 - 29 - 34 - 10 - 12 - 35 - 27 - 19 - 0	
Nº de pontos:	10
Carga média transportada:	3604,74 kg
Distância Total:	1.807 km
Obs.: Rota normalmente feita com caminhão baú.	
Roteiro OP: 0 - 9 - 27 - 2 - 1 - 17 - 32 - 31 - 28 - 33 - 37 - 11 - 18 - 0	
Nº de pontos:	12
Carga média transportada:	6.885,94 kg
Distância Total:	1.091 km
Obs.: Rota visitou Paranaíba 33% das vezes, aumentando 400 km na rota.	
Roteiro GO 1: 0 - 13 - 30 - 5 - 7 - 6 - 15 - 21 - 3 - 38 - 0	
Nº de pontos:	9
Carga média transportada:	8.675,57 kg
Distância Total:	1.871 km
Obs.:	

Tabela 9: Roteiros atualmente realizados. (Elaborado pelo autor)

Roteiro – Simulado	
Roteiro Goiás:	0 – 15 – 21 – 38 – 5 – 30 – 13 – 22 – 7 – 25 – 34 – 6 – 8 – 20 – 3 – 24 – 0
N° de pontos:	15
Carga média transportada:	10.999,93 kg
Distância Total:	2.452 km
Obs.:	
Roteiro Paulista:	0 – 10 – 35 – 12 – 36 – 18 – 23 – 29 – 1 – 27 – 9 – 37 – 2 – 11 – 28 – 32 – 33 – 17 – 31 – 0
N° de pontos:	18
Carga média transportada:	10.195,34 kg
Distância Total:	1.922 km
Obs.:	Passa próximo à Araçatuba e Presidente Prudente.
Roteiro Campo Grande:	0 – 4 – 26 – 39 – 16 – 14 – 19 – 0
N° de pontos:	6
Carga média transportada:	10.702,48 kg
Distância Total:	532 km
Obs.:	

Tabela 10: Novos roteiros calculados. (Elaborado pelo autor)

Apesar do aumento da distância percorrida em cada rota, o total percorrido por semana será diminuído consideravelmente, como será observado a seguir:

$$\text{Situação Real} = \text{MT} + \text{CG} + \text{AP} + \text{OP} + \text{GO1}$$

$$\text{Situação Real} = 6.857 \text{ km.}$$

$$\text{Simulado} = \text{Goiás} + \text{Paulista} + 2 * \text{Campo Grande}$$

$$\text{Simulado} = 5.444 \text{ km.}$$

Como a rota de Mato Grosso entregava em média 6.800 kg em Campo Grande, a rota de Campo Grande passará a ser feita duas vezes na semana, podendo fazer uma viagem com um caminhão truck de 14.000 kg e outra viagem com o caminhão toco de 8.000 kg, se disponível.

Para que seja possível a implantação efetiva das novas rotas faz-se necessárias algumas modificações no carregamento e saída dos caminhões, a saber:

- A rota de Goiás terá que ter o caminhão carregado na sexta ou no sábado e sair em viagem na segunda logo de manhã;

- A rota Paulista terá que ser carregada na segunda e sair na terça logo de manhã;
- A rota de Campo Grande sair na quarta e na sexta.

Para que fosse possível calcular a economia financeira da alteração, foram levantados, junto aos colaboradores do setor de expedição, os custos variáveis logísticos, analisado quanto tempo levaria para fazer a entrega de cada rota (real e simulado) e compilados os resultados na Tabela 11 e 12 para as devidas comparações:

Custos Logísticos					
	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Média Mensal
Diesel	R\$ 7.033,32	R\$ 7.033,32	R\$ 7.033,32	R\$ 7.033,32	R\$ 28.133,29
Lubrificantes	R\$ 319,99	R\$ 319,99	R\$ 319,99	R\$ 319,99	R\$ 1.279,96
Salário	R\$ 2.357,72	R\$ 2.357,72	R\$ 2.357,72	R\$ 2.357,72	R\$ 9.430,88
Café	R\$ 90,00	R\$ 90,00	R\$ 90,00	R\$ 90,00	R\$ 360,00
Banho	R\$ 90,00	R\$ 90,00	R\$ 90,00	R\$ 90,00	R\$ 360,00
Almoço/Janta	R\$ 153,00	R\$ 153,00	R\$ 153,00	R\$ 153,00	R\$ 612,00
				TOTAL	R\$ 40.176,13

Tabela 11: Custos Logísticos para as rotas existentes. (Elaborado pelo autor)

Custos decorrentes das novas Rotas					
	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Média Mensal
Diesel	R\$ 5.583,99	R\$ 5.583,99	R\$ 5.583,99	R\$ 5.583,99	R\$ 22.335,95
Lubrificantes	R\$ 228,95	R\$ 228,95	R\$ 228,95	R\$ 228,95	R\$ 915,80
Salário	R\$ 2.357,72	R\$ 2.357,72	R\$ 2.357,72	R\$ 2.357,72	R\$ 9.430,88
Café	R\$ 50,00	R\$ 50,00	R\$ 50,00	R\$ 50,00	R\$ 200,00
Banho	R\$ 50,00	R\$ 50,00	R\$ 50,00	R\$ 50,00	R\$ 200,00
Almoço/Janta	R\$ 85,00	R\$ 85,00	R\$ 85,00	R\$ 85,00	R\$ 340,00
				TOTAL	R\$ 33.422,63

Tabela 12: Custos Logísticos para as novas rotas. (Elaborado pelo autor)

Com o conhecimento desses dados e sabendo que a união da rota GO 1 com a rota MT gerará um atraso nas entregas das últimas cidades, será concedido um desconto para estes clientes. Para a escolha dos clientes que terão suas cargas atrasadas, levou-se em consideração a quantidade média pedida por semana, de forma que a redução na receita seja mínima, resultando a Tabela 13:

Cidades que serão atrasadas	Kg/semana
Camapuã	19,69
Coxim	408,78
Rio de Verde de Mato Grosso	69,41
Rondonópolis	716,21
São Gabriel do Oeste	274,09
Sonora	359,91
TOTAL	1.848,08

Tabela 13: Cidades que sofrerão atraso. (Elaborado pelo autor)

Levando-se em consideração uma densidade média e preço médio de 20kg/m² e 100 R\$/m², respectivamente, teríamos uma receita de R\$9.240,40, caso for dado um desconto de 10% em todas as peças, haveria uma redução da receita na ordem de R\$924,04 por semana ou R\$3.696,16 por mês.

As rotas atuais e propostas podem ser visualizadas no Apêndice.

7. CONCLUSÃO E BENEFÍCIOS

A partir dos dados obtidos com este estudo, podemos concluir que uma alteração nas rotas, mesmo tendo que percorrer a rota de Campo Grande duas vezes na semana, reduziria em 20,6% a distância percorrida, o que levaria a uma economia de R\$6.753,50 por mês.

Além disso, é importante ressaltar que a união das rotas diminui a quantidade de caminhões necessários, otimizando sua utilização e disponibilizando mais caminhões para as entregas locais, Mundo Novo, Bonito e Goiás 2.

Por outro lado, uma rota maior periodicamente atrasaria algumas entregas, para que seja dada uma contrapartida a estes cliente foi calculado um desconto de 10% na tabela de preço destes, como sugestão à gerência, gerando ainda uma economia geral de R\$3.057,34 por mês.

Por fim, os resultados colhidos por este método, apesar da melhoria, não são necessariamente o ótimo, o que abre espaço para novas pesquisas e análises a fim de se refinar e adaptar a simulação para uma implementação efetiva na empresa.

REFERÊNCIAS

BOZER, Y. A., & YEN, C. (1996). **Intelligent dispatching rules for trip-based material handling systems**. *Journal of Manufacturing Systems*, 15(4), 226-239. [http://dx.doi.org/10.1016/0278-6125\(96\)84549-3](http://dx.doi.org/10.1016/0278-6125(96)84549-3).

BALLOU, R. H. (2001). **Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos**. 4ª edição. Porto Alegre: Bookman

CLARKE, G.; WRIGHT, J. W. **Scheduling of Vehicles from a Central Depot to a Number of Delivery Points**. *Operations Research*, v.12, n.4, p. 568 - 581, 1964.

CORMEN, T. H., Leiserson, C. E., Rivest, R. L., and Stein, C. (2002). **Algoritmos - Teoria e Prática**. Campus, Rio de Janeiro, 2 edition.

CUNHA, C. B. (2000). **Aspectos práticos da aplicação de modelos de roteirização de veículos a problemas reais**. *Revista Transportes da ANPET*, 8(2), 51-74.

DOURAGLASS. **Douraglass indústria e comércio de vidros temperados**. Disponível em <www.douraglass.ind.br/>. Acesso em 7 de janeiro de 2017.

GOOGLE MAPS. **Serviço de mapas**. Disponível em <<https://www.google.com.br/maps>>. Acesso em 7 de janeiro de 2017.

HEINEN, M. R. **Análise e Implementação de Algoritmos para o Roteamento de Veículos**. Disponível em <http://www.academia.edu/2582716/An%C3%A1lise_e_Implementa%C3%A7%C3%A3o_de_e_Algoritmos_para_o_Roteamento_de_Ve%C3%ADculos>. Acesso em 11 de janeiro de 2017.

MIURA, M. (2003) **Resolução de um problema de roteamento de veículos em uma empresa transportadora**. Disponível em <<http://pro.poli.usp.br/wp-content/uploads/2012/pubs/resolucao-de-um-problema-de-roteamento-de-veiculos-em-uma-empresa-transportadora.pdf>>. Acesso em 3 de janeiro de 2017.

_____ (2008) **Modelagem heurística no problema de distribuição de cargas fracionadas de cimento**. Disponível em <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3148/tde-17112008-115017/publico/Dissertacao_Miura_Revisao.pdf>. Acesso em 3 de janeiro de 2017.

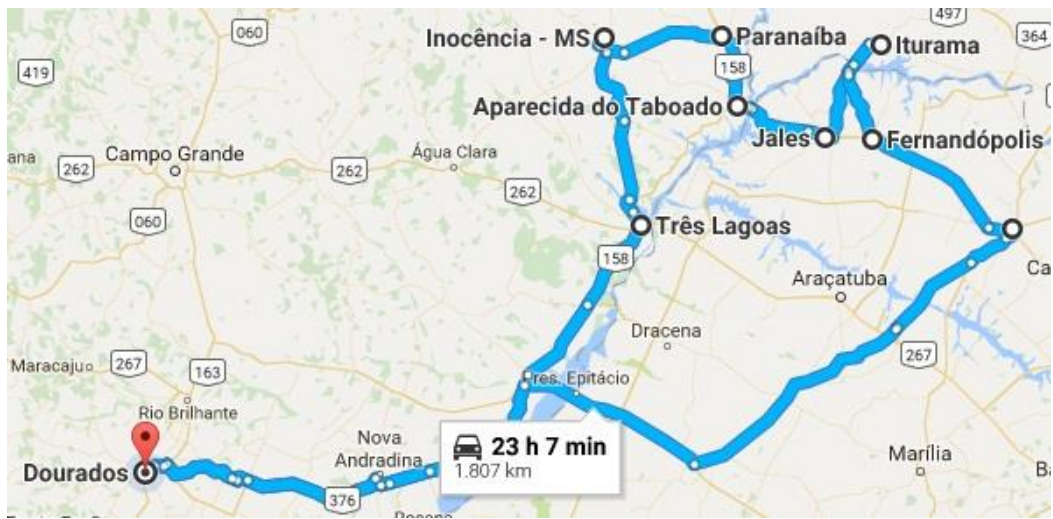
OLIVERA, A. (2004). **Heurísticas para problemas de ruteo de vehículos**. Master's thesis, Instituto de Computación: Universidad de la República, Montevideo, Uruguay.

PUC-RIO. SISTEMA MAXWELL. **Problemas de roteirização**. Disponível em <https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/11745/11745_4.PDF>. Acesso em 9 de janeiro de 2017.

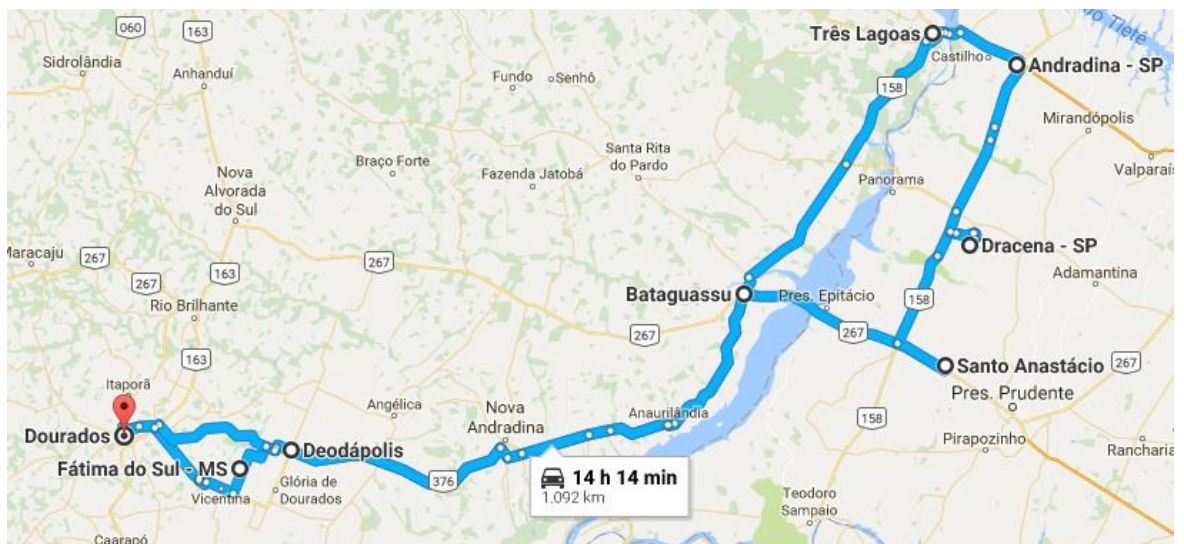
RIBEIRO, F. N.; MINE, M. T.; SILVA, M. S. A.; SOUZA, M. J. F. **Problema de roteamento de veículos**. Disponível em <<http://www.decom.ufop.br/marcone/Disciplinas/InteligenciaComputacional/Problema%20de%20Roteamento%20de%20Ve%C3%ADculos.doc>>. Acesso em 3 de janeiro de 2017.

SILVA. S. K. A. R. Aplicação de métodos de previsão de demanda e desenvolvimento de uma política de estoques em uma indústria de vidros temperados. Trabalho de conclusão de curso, Faculdade de Engenharia: Universidade Federal da Grande Dourados, 2016.

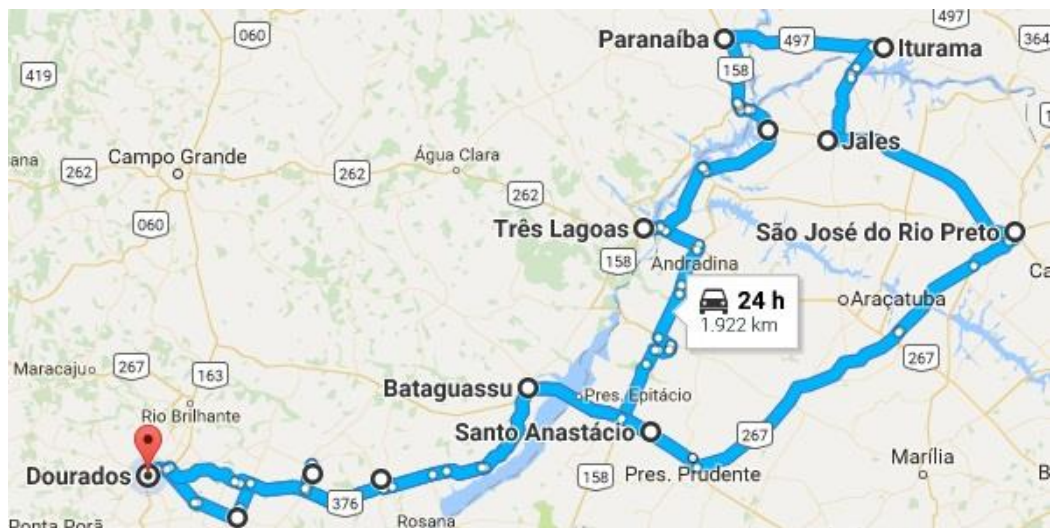
APÊNDICE – ROTAS ATUAIS E PROPOSTAS



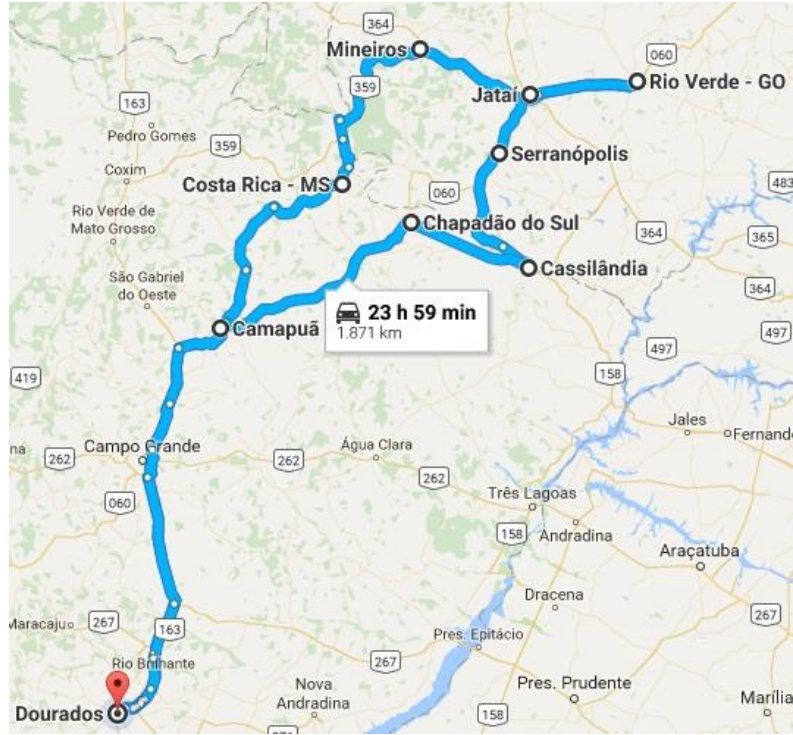
Rota Alta Paulista (AP)



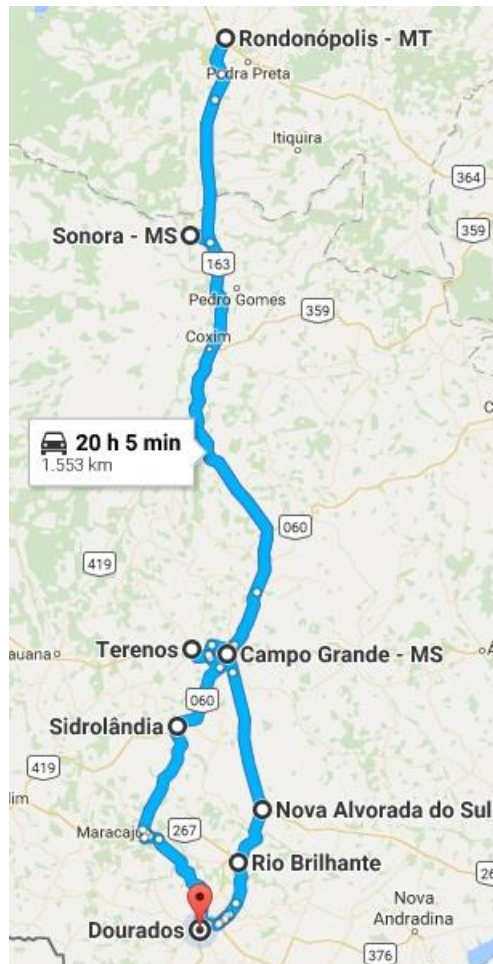
Rota Oeste Paulista (OP)



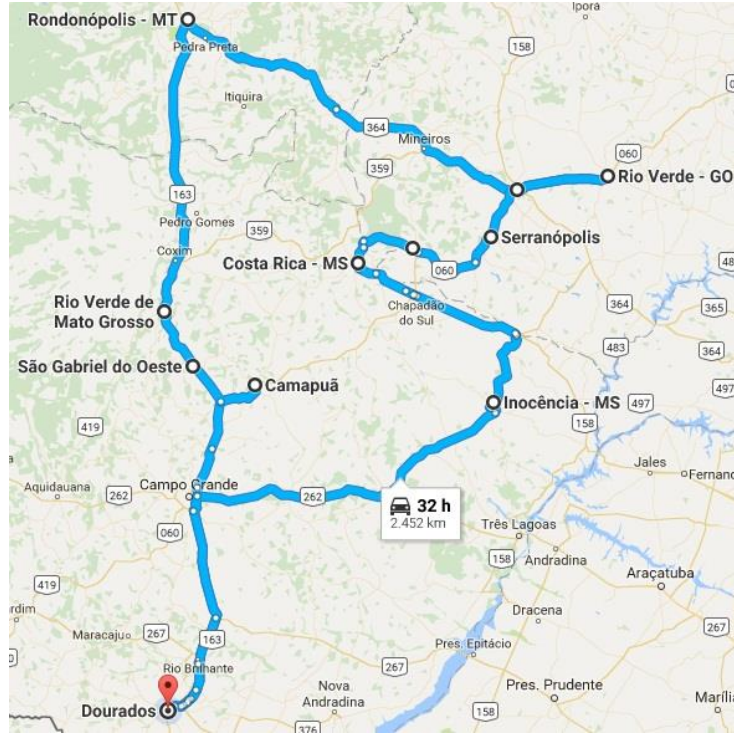
Nova Rota Paulista



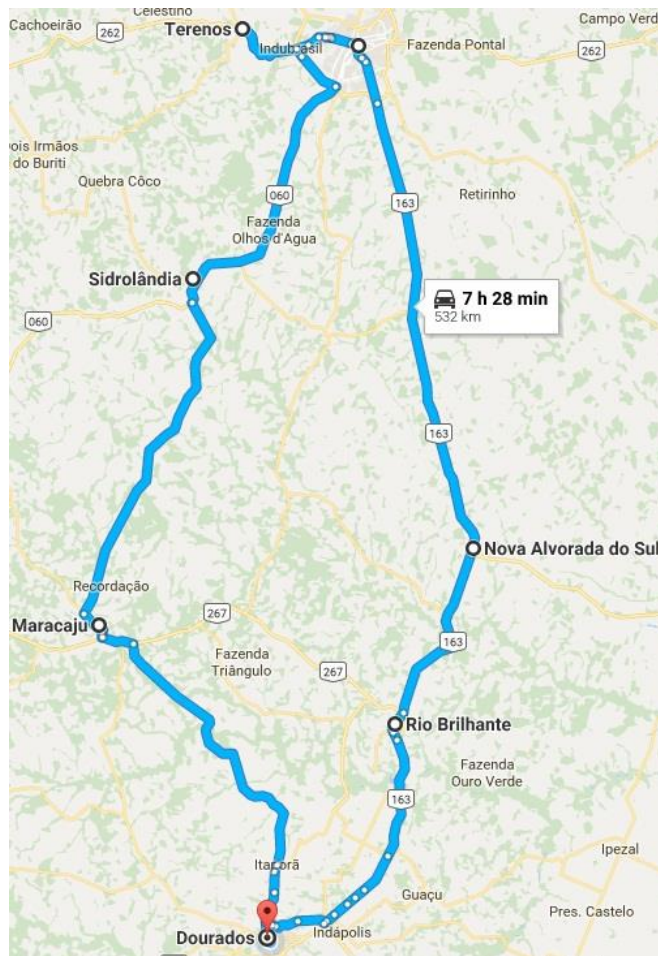
Rota Goiás 1 (GO1)



Rota Mato Grosso (MT)



Nova Rota Goiás



Rota Campo Grande