



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO,
ADMINISTRAÇÃO E ECONOMIA - DEPRO



**Modelagem e solução do problema de roteirização de veículo de
entregas na cidade de Ouro Preto**

Helbert Cristelli Gilbert

Ouro Preto – MG

2016

Helbert Cristelli Gilbert

helbertgilbert@gmail.com

**Modelagem e solução do problema de roteirização de veículo de
entregas na cidade de Ouro Preto**

Monografia submetida à apreciação da banca examinadora de graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Ouro Preto, como parte dos requisitos necessários para a obtenção de grau de graduado em Engenharia de Produção.

Orientador: Profº André Luís Silva

Ouro Preto – MG

2016

Folha de Rosto (verso) – Ficha catalográfica

Deverá ser elaborada pelo profissional bibliotecário de sua Unidade ou da Biblioteca Central, objetivando a padronização das entradas de autor, orientador e definição dos cabeçalhos de assunto à partir de índices de assuntos reconhecidos internacionalmente.

GILBERT, Helbert Cristelli. Modelagem e solução do problema de roteirização de veículo de entregas na cidade de Ouro Preto. 2016 YY páginas.

Orientador: Profº André Luís Silva.

Monografia (Graduação) – Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Departamento de Engenharia de Produção, Administração e Economia.

1. Palavra chave. 2. Palavra chave. 3. Palavra chave. 4. Palavra chave. 5. Palavra chave.

I. Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Departamento de Engenharia de Produção, Administração e Economia. II. Título.

HELBERT CRISTELLI GILBERT

Modelagem e solução do problema de roteirização de veículo de entregas na cidade de Ouro Preto

Monografia julgada e aprovada em 22 de fevereiro de 2017, como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro de Produção no curso de Engenharia de Produção da Universidade Federal de Ouro Preto.

BANCA EXAMINADORA

Profº. Dr. André Luís Silva

Universidade Federal de Ouro Preto

Orientador

Profº. Dra. Lazara Fabricia Rodrigues

Universidade Federal de Ouro Preto

Examinador

Profº. Helton Cristiano Gomes

Universidade Federal de Ouro Preto

Examinador

AGRADECIMENTOS

Dedico este trabalho, primeiramente, a Deus por fornecer todas as condições necessárias para a conclusão do mesmo.

Agradeço também aos meus pais e irmãos, por sempre serem apoio e auxílio em todos os momentos, me ensinando constantemente o significado de família.

A Wanessa meu maior exemplo de afeto, simplicidade e bondade. Muito obrigado por estar comigo!

Dedico também ao meu orientador Professor Dr. André Luis Silva, por estar sempre presente em conhecimento e motivação buscando o melhor meio para o desenvolvimento do trabalho.

Ao amigo Otávio, por representar o marco inicial desse projeto.

Ao Departamento de Engenharia de Produção e Economia (DEPRO-UFOP), programa PIP-UFOP e a FAPEMIG pela iniciativa e fomento ao desenvolvimento de pesquisas e capacitação profissional de qualidade.

Enfim, dedico também a Universidade Federal de Ouro Preto-UFOP por toda a infraestrutura e qualidade de ensino, que proporciona a quebra de barreiras no aprendizado e desenvolvimento dos alunos e da sociedade.

RESUMO

GILBERT, Helbert Cristelli. Modelagem e solução do problema de roteirização de veículo de entregas na cidade de Ouro Preto. 2016. Monografia (Graduação em Engenharia de Produção). Universidade Federal de Ouro Preto.

O cálculo de rotas é uma atividade necessária para organizações e empresas, onde os bens produzidos são entregues para seus clientes. Essa realidade é também percebida na realização de eventos onde há a obrigatoriedade de deslocamentos de cargas. No presente trabalho, foi realizado um projeto envolvendo o cálculo de rotas de entrega de bebidas em repúblicas estudantis na cidade de Ouro Preto para a realização do carnaval. O objetivo foi a criação de um sistema capaz de otimizar as distâncias percorridas na realização de entregas de bebidas para a demanda de pico, que ocorre no período anterior a festividade na cidade local; o sistema criado recebe informações do usuário, tais como: repúblicas a serem visitadas, tamanho do pedido e frota disponível. O resultado é a ordenação das entregas diárias para o atendimento dessa demanda, onde é gerado um mapa que fornece o custo mínimo para a realização da operação. Para criação do sistema, foram necessárias algumas atividades, sendo elas: mapeamento de distancias, escolha da plataforma de implementação, construção do *software*. Vale salientar que este sistema foi criado para atender a demanda real de uma empresa que vende e entrega bebidas na cidade de Ouro Preto. Os testes iniciais comprovaram um potencial de redução de custos, uma vez que não era realizado nenhum trabalho nesse sentido no caso estudado.

Palavras-chaves: Logística, Otimização, Cálculo de rotas, CVRP.

ABSTRACT

GILBERT, Helbert Cristelli. **Modeling and solution of the problem of vehicle routing of deliveries in the city of Ouro Preto.** 2016. Course Work Conclusion (Graduate in Production Engineering). Federal University of Ouro Preto.

Routing calculation is a necessary activity for organizations and businesses, where manufactured products have to be delivered to their customers. This reality is also perceived in the accomplishment of events where there is the obligation of displacements of loads. In the present work was developed a project involving the calculation of routes of delivery of drinks in student republics in the city of Ouro Preto for the realization of the carnival. The objective was to create a system capable of optimizing the distances traveled in the delivery of beverages to the peak demand that occurs in the period prior to the carnival in the city of Ouro Preto-MG. The created system receives user information such as republics to be visited, order track and fleet available. The result is the ordering of daily deliveries to meet this demand, in order to obtain a map that provides the minimum cost for the operation. In order for the system to be created, some activities were necessary: mapping distances, choosing the implementation platform, building the software. It is worth noting that this system was created to meet the real demand of a company that sells and delivers beverages in the city of Ouro Preto. The initial tests showed potential cost reduction since there isn't other works done in this direction like this case studied.

Key-words: Logistic, Optimization, Route show, CVRP.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: LOCALIZAÇÃO DE OURO PRETO NO MAPA DO BRASIL.	10
FIGURA 2: LOCALIZAÇÃO DE OURO PRETO NO MAPA DE MINAS GERAIS.	10
FIGURA 3: PRAÇA TIRADENTES.	11
FIGURA 4: EXEMPLO DE CAMINHÃO APTO PARA TRANSITAR NO CENTRO DE OURO PRETO.	12
FIGURA 5: RUAS NO CENTRO DE OURO PRETO.	12
FIGURA 6: REPRESENTAÇÃO DA DISTÂNCIA ENTRE OURO PRETO E A DISTRIBUIDORA.	20
FIGURA 8 : CAIXA DE BEBIDA.	22
FIGURA 9: TELA DE SELEÇÃO DE CLIENTES MAPEADOS PARA ENTREGA.	23
FIGURA 10: TELA DE REGISTRO DE FROTA.	23
FIGURA 11: TELA DE REGISTRO DE DEMANDAS	24
FIGURA 12: BOTÃO PARA O CÁLCULO DE ROTAS.	24

LISTA DE TABELAS

TABELA 1: DISTÂNCIAS DE IDA E VOLTA ENTRE OS PONTOS DE ENTREGA.

21

SUMÁRIO

<u>1</u>	<u>INTRODUÇÃO AO ESTUDO</u>	<u>8</u>
1.1	FORMULAÇÃO DO PROBLEMA	9
1.2	JUSTIFICATIVA DO TRABALHO	10
1.3	OBJETIVOS	14
1.3.1	OBJETIVO GERAL	14
1.3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
1.4	ESTRUTURA DO TRABALHO	14
<u>2</u>	<u>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</u>	<u>15</u>
<u>3</u>	<u>APLICAÇÃO</u>	<u>20</u>
3.1	MÉTODO DE SOLUÇÃO CONSTRUTIVO	25
<u>4</u>	<u>CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES</u>	<u>26</u>
4.1	CONCLUSÕES	26
4.2	RECOMENDAÇÕES	27
<u>5</u>	<u>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</u>	<u>29</u>

1 INTRODUÇÃO AO ESTUDO

O Cálculo de Rotas de Veículos Capacitados (*Capacited Vehicle Routing Problem-CVRP*) é uma variante do clássico Problema de Roteamento de Veículos (*Vehicle Routing Problem -VRP*) , cuja capacidade do veículo é finita e representa uma restrição a ser tratada no modelo.

No CVRP todos os clientes são entendidos como um ponto de entrega a ser servido, as demandas são determinísticas, conhecidas antecipadamente e não podem ser divididas, os veículos são idênticos e são baseados em um único depósito central, apenas a restrição de capacidade para os veículos é imposta. Conforme GASKELL (1967) o objetivo do CVRP é minimizar o custo total necessário para atender a todos os clientes, ou seja, o número de rotas e / ou o seu comprimento ou tempo de viagem.

Geralmente, o custo de deslocamento entre cada par de localizações de clientes é o mesmo em ambas as direções, isto é, a matriz de custo resultante é simétrica. Enquanto que em algumas aplicações como a distribuição em áreas urbanas com direções unidirecionais impostas nas estradas, a matriz de custo é assimétrica (TOTH; VIGO 2002).

A história sobre CVRP começa no final da década de 1950 com os autores Dantzig e Wright (1959), que trabalharam no transporte de gás para calcular rotas. Seu trabalho apontado como o primeiro artigo sobre o problema de roteamento onde evidencia-se restrições de capacidade do veículo em sua formulação matemática.

Após este primeiro trabalho sobre CVRP, o que se pôde ver é um número expressivo de obras sobre o assunto. Exemplos disso são trabalhos focados na formulação matemática e as variantes (CHRISTOFIDES; EILON, 1969; CLARCK; WRIGHT, 1964; GASKELL, 1967; HAYES, 1967; KUMAR; PANNEERSELVAM, 2012; TOTH; VIGO, 2002; YEUN *et al*, 2008), nos métodos exatos para resolvê-lo (BALDACCI *et al*, 2007; TOTH; VIGO, 2002; CONTARDOA *et al*, 2012; RALPHS,

2003), nas abordagens heurísticas (AI; KACHITVICHYANUKUL, 2009; CHEN *et al*, 2009; GOLOZARI *et al*, 1967; HEMMELMAYA; CORDEAU, 2012; LEE *et al*, 2012; NAZIFA; LEE, 2012; MOHAMMED *et al*, 2012; ONWUBOLU; DAVENDRA, 2009; RACHMAM *et al*, 2009; VENKATESAN *et al*, 2011; TAVAKKOLI-MOGHADDAN *et al*, 2006; XING *et al*, 2008), e em aplicações (SILVA *et al*, 2015; MENEGUZZI *et al*, 2015; NETO; PUREZA, 2015; FERNANDES *et al*, 2015; SARUBBI *et al*, 2015; DE LA VEJA; ABENSUR, 2014).

Neste contexto, este trabalho irá abordar o CVRP, ou seja, será feita uma aplicação em um caso real da elaboração de um percurso ótimo para a realização de entregas na cidade, levando em considerações uma série de restrições existentes no trânsito, capacidade dos caminhões, tempo e custo final da operação.

1.1 *Formulação do Problema*

A logística de uma forma geral é fonte de grandes dispêndios em todos os processos operacionais existentes, uma vez que todo produto ou serviço existente tem que ser levado até seu cliente final. Nos processos produtivos cada produto tem suas particularidades para ser fabricado bem como para ser transportado o que, por sua vez, gera um fluxo de planejamento na realização de tais atividades no intuito de otimizar recursos empregados para tal tarefa.

Uma das atividades chave nesse processo é a roteirização, por representar reduções de custos diretos como combustível, tempo e mão de obra. Ela também representa redução de custos indiretos como manutenção dos caminhões. Nesse sentido, com a aplicação dos conceitos do CVRP para resolver o problema aqui explanado.

A definição sobre CVRP inclui todos os itens envolvidos no problema exposto na pesquisa, que é: reduzir o custo do serviço de entrega de mercadorias (bebidas, neste caso) na cidade de Ouro Preto-MG, uma cidade com grandes particularidades para a realização de atividades logísticas.

Nesta aplicação, utilizou-se de demandas determinísticas de bebidas, veículos idênticos para fazer o serviço de entrega, um único depósito para atender toda a cidade, e distância assimétrica entre os clientes.

Para o atendimento dessas entregas os veículos utilizados eram idênticos nos quesitos: capacidade e forma de armazenamento da carga no transporte, com peso total limitado devido á restrições de tráfego no centro da cidade.

Assim, a questão-problema pode ser feita da seguinte forma: como modelar e resolver uma aplicação sobre a entrega de bebidas no carnaval na cidade de Ouro Preto?

1.2 Justificativa do Trabalho

O problema de CVRP apresentado aqui foi realizado na cidade de Ouro Preto, localizada no centro do Estado de Minas Gerais. A Figura 1 e a Figura 2 indicam a localização da cidade nos mapas do Brasil e do Estado de Minas Gerais.

	
Figura 1: Localização de Ouro Preto no mapa do Brasil.FONTE: GOOGLE MAPS.	Figura 2: Localização de Ouro Preto no mapa de Minas Gerais. FONTE: GOOGLE MAPS.

Ouro Preto é uma antiga cidade mineira colonial e foi fundada no final do século XVII. Reconhecida como "Patrimônio Mundial" pela UNESCO na década de 80 por sua arquitetura barroca singular. A Figura 3 apresenta a praça principal de Ouro Preto e mostra as características das ruas da cidade.



Figura 3: Praça Tiradentes. FONTE: PRÓPRIO AUTOR.

Conforme apresentado na Figura 3, as ruas em Ouro Preto não são adaptadas para veículos com capacidade superior a sete toneladas como caminhões de entrega. Além disso, as leis de trânsito são restritas e fazem especificações quanto ao tipo de caminhão pode ser usado, tamanho, quantidade de peso, etc.

A Figura 4 apresenta um exemplo de caminhão autorizado a transitar no centro de Ouro Preto.



Figura 4: Exemplo de caminhão apto para transitar no centro de Ouro Preto. FONTE: PRÓPRIO AUTOR.

A Figura 5 apresenta algumas ruas de Ouro Preto, tornando compreensíveis as restrições existentes.



Figura 5: Ruas no centro de Ouro Preto. FONTE: PRÓPRIO AUTOR.

Além de todos esses fatores, a circulação na cidade é em grande parte ditada por ruas de mão única. As razões para isto são ruas construídas com pedra-sabão, como apresentado na Figura 3 e Figura 5, e seu diâmetro, estreito. Assim, as ruas de mão dupla são vias quase inexistentes no centro histórico.

Contudo, todos os anos a cidade realiza uma das festas mais típicas do Brasil, o carnaval. Na cidade o evento é organizado em grande parte pelas repúblicas estudantis da universidade local, Universidade Federal de Ouro Preto, UFOP. Algumas destas, hospedam mais de cem pessoas. A organização do evento inclui uma grande quantidade de atividades, e uma dessas (que é investigação do presente trabalho) é comprar com antecedência bebidas para a realização do carnaval.

A priori, verifica-se o número total de repúblicas existentes em Ouro Preto como um problema (existem mais de trezentas). Em 2016 em torno de duzentas receberam turistas e fizeram pedidos para empresas que fornecem bebidas.

Para enfrentar esse problema, apenas uma distribuidora possuía estrutura de transporte e capacidade operacional suficiente para atender a demanda de bebidas. Localiza-se em Mariana, cidade próxima a Ouro Preto, cerca de 14 quilômetros de distância. Ao pensar sobre a capacidade de atender a esta demanda, tem-se em mente: esta empresa possui suficiente estoque de bebidas, caminhões com o tamanho legalizado para circular no centro histórico de Ouro Preto e em quantidade suficiente, bem como motoristas e ajudantes para realizar o trabalho?

Desta forma justifica-se a realização deste projeto na cidade de Ouro Preto, mais precisamente na logística de transporte de bebidas para as repúblicas desta cidade.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo geral

O presente trabalho tem como objetivo a criação de uma interface computacional no ambiente Microsoft VBA Excel, para otimização de distâncias percorridas para realizar entregas de um único produto na cidade de Ouro Preto -MG.

1.3.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos podem ser assim listados:

- Dimensionamento de distâncias entre os pontos pré-estabelecidos para realizar as entregas;
- Criação das telas do *software* para cálculo das rotas;
- Implementação do código em Microsoft VBA Excel para proposição de uma solução inicial;
- Implementação de heurística para refinar a solução de acordo com as demais restrições do problema.

1.4 Estrutura do Trabalho

Para apresentar esta aplicação, este trabalho foi subdividido em quatro capítulos, onde no primeiro estão a introdução, objetivos e justificativa do problema; o segundo trata da revisão de literatura. A terceira parte é a aplicação sobre o serviço de entrega no carnaval no em Ouro Preto. E, no último foram formuladas considerações finais sobre o sistema desenvolvido.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Quando fala-se de CVRP aspira-se trabalhar sobre a seguinte ideia: Determinar as rotas ótimas que serão utilizadas por uma frota de veículos idênticos, para atender às demandas de um conjunto de cidades espacialmente distribuídas.

Nesta definição, há alguns aspectos a serem respeitados (DANTZIG; RAMSER, 1959; PANNEERSELVAM, 2012; TOTH; VIGO, 2002; YEUN *et al*, 2008):

- São conhecidos os valores de distâncias entre todos os clientes (cidades) a serem visitados e as demandas de entrega;
- Todos os veículos e suas capacidades são idênticos, conhecidos e limitados;
- As rotas a serem utilizadas começam e terminam no mesmo ponto, chamado depósito;
- Cada cliente será visitado por apenas um veículo;
- As entregas parciais não são permitidas;
- O objetivo principal é calcular a distância total mínima (ou tempo).

Desde o primeiro artigo sobre CVRP (DANTZIG; RAMSER, 1959), sua definição continua bem similar. Isso pode ser verificado em artigos sobre revisões em CVRP (PANNEERSELVAM, 2012; TOTH; VIGO, 2002; YEUN *et al*, 2008).

A sua formulação matemática está bem escrita e bem apresentada por BALDACCI *et al* (2007); TOTH e VIGO (2002); YEUN *et al* (2008) e pode ser feita da seguinte forma:

Tomando $G = (V; A)$ um grafo completo com $V = \{0, \dots, N\}$ os vértices em conjunção e A um conjunto de arcos. Os $i = 0$ vértices representam o depósito e os $i = \{1, \dots, N\}$ são os clientes com demandas conhecidas $d_i \geq 0$. O valor $c_{ij} \geq 0$ está associado a cada arco (i, j) , representando os custos do veículo para ir do

vértice i para j . O conjunto $k = \{1, \dots, K\}$ representa o número de veículos para atender a demanda total.

Variáveis de decisão:

$$X_{ijk} = \begin{cases} 1 & \text{se o veículo } k \text{ está indo da cidade } i \text{ para } j, \\ 0 & \text{caso contrário.} \end{cases}$$

Formulação Matemática:

$$\text{Minimizar } \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N \sum_{k=1}^K c_{ij} \times x_{ijk} \quad (2.1)$$

Restrições:

$$\sum_{i=1}^N x_{i0k} - \sum_{j=1}^N x_{0jk} = 0; \quad \forall k = 1, \dots, K; \quad (2.2)$$

$$\sum_{i=0}^N \sum_{k=1}^N x_{ijk} = 1; \quad \forall j = 1, \dots, N; \quad (2.3)$$

$$\sum_{j=0}^N \sum_{k=1}^N x_{ijk} = 1; \quad \forall i = 1, \dots, N; \quad (2.4)$$

$$\sum_{j=0}^N x_{0jk} = 1; \quad \forall k = 1, \dots, K; \quad (2.5)$$

$$\sum_{i=0}^N x_{i0k} = 1; \quad \forall k = 1, \dots, K; \quad (2.6)$$

$$\sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N d_i x_{ijk} \leq C; \quad \forall k = 1, \dots, K; \quad (2.7)$$

$$d_i \leq r_{ik} \leq C; \quad \forall i = 1, \dots, N; \quad \forall k = 1, \dots, K; \quad (2.8)$$

$$\sum_{i=0}^N x_{ijk} - \sum_{j=0}^N x_{ijk} = 1; \quad \forall j = 1, \dots, N; \quad \forall k = 1, \dots, K; \quad (2.9)$$

$$r_{ik} + d_j - r_{jk} \leq C x (1 - x_{ijk}); \quad \forall i = 1, \dots, N; \quad \forall j = 1, \dots, N; \quad \forall k = 1, \dots, K; \quad (2.10)$$

$$r_{ik} \geq 0; \quad \forall i = 1, \dots, N; \quad \forall k = 1, \dots, K; \quad (2.11)$$

$$x_{ijk} \in \{0, 1\}; \quad \forall i = 1, \dots, N; \quad \forall j = 1, \dots, N; \quad \forall k = 1, \dots, K; \quad (2.12)$$

Onde:

r_{ik} refere-se ao montante dentro do veículo k depois de visitar o cliente i .

A equação (2.1) apresenta a função objetivo que minimiza a distância percorrida. A equação (2.2) garante que todas as rotas começam e terminam no depósito. As equações (2.3) e (2.4) determinam que todos os clientes serão visitados exatamente uma vez. As equações (2.5) e (2.6) restringiram a utilidade do veículo apenas uma vez. As equações (2.7) e (2.8) são as restrições sobre a capacidade do veículo. As equações (2.9) e (2.10) restringiram a existência das repetições no trajeto das rotas. Por fim, as equações (2.11) e (2.12) explicam a natureza e os valores das variáveis do modelo.

Outra questão importante, além do modelo matemático, é o método utilizado para a obtenção da solução do CVRP. Para a proposição dessa são utilizados métodos exatos e heurísticas. Exemplos de ambos os métodos são citados abaixo.

Existem alguns métodos exatos usados para resolver o CVRP: Limites inferiores (BALDACCI *et al*, 2007; CONTARDOA *et al*, 2012; TOTH; VIGO, 2002); *Branch & Cut* (RALPHS, 2003).

Heurísticas, como um método de resolução do CVRP, são relatadas na literatura também: Otimização por Enxame de Partículas (AI; KACHITVICHYANUKUL, 2009; VENKATESAN *et al*, 2011), Algoritmo Genético (NAZIFA; LEE, 2012; MOHAMMED *et al*, 2012), Vizinhaça Variável (CHEN *et al*, 2009), Colônia de Formigas (LEE *et al*, 2012; XING *et al*, 2008), Pesquisa em Grande Vizinhaça (HEMMELMAYA; CORDEAU, 2012), Recozimento Simulado (GOLOZARI *et al*, 1967; TAVAKKOLI-MOGHADDAN *et al*, 2006), Evolução Diferencial (ONWUBOLU; DAVENDRA, 2009; RACHMAM *et al*, 2009).

Sobre todas as soluções, há uma questão comum sobre os métodos exatos versus seu desempenho para lidar com problemas de grande porte. No entanto, é importante notar que nas soluções exatas existem provas matemáticas de sua eficiência. Portanto, a solução final é gerada para ser o valor ideal para o problema. (BALDACCI *et al*, 2007; CONTARDOA *et al*, 2012; RALPHS, 2003; TOTH; VIGO, 2002) .

No entanto, os artigos que propõem (ou usam) heurísticas não têm provas matemáticas. Mas, estes permitem soluções aproximadas com esforço computacional reduzido, em comparação com os métodos exatos. (CHEN *et al*, 2009; GOLOZARI *et al*, 1967; HEMMELMAYA; CORDEAU, 2012; LEE *et al*, 2012; ONWUBOLU; DAVENDRA, 2009; RACHMAM *et al*, 2009; TAVAKKOLI-MOGHADDAN *et al*, 2006; XING *et al*, 2008).

As instâncias de problema são importantes para a resolução de aplicações desse porte. Os grupos mais utilizados na pesquisa sobre CVRP são empregados por diversos autores em diferentes estudos de caso. (AUGERAT *et al*, 1995; BREEDAM, 1994; CRISTOFIDES; EILON, 1969; CRISTOFIDES; MINGOZZI; TOTH, 1979; FISHER, 1994; e GOLDEN *et al*, 1998)

A aplicabilidade do CVRP em problemas reais também é um assunto encontrado em várias literaturas. Uma delas pode ser verificada em SILVA *et al.* (2015) que trabalharam no CVRP para resolver uma coleta seletiva de lixo em Recife, Brasil. Outra aplicação está disponível em MENEGUZZI *et al.* (2015), resolveram um planejamento de inventário florestal. Neto e Pureza (2015) solucionaram um problema de distribuição de uma grande empresa de bebidas em áreas urbanas. SARUBBI *et al.* (2015) têm trabalhado com transporte de ônibus escolar. FERNANDES *et al.* (2015) mostra uma aplicação em uma empresa de laticínios. DE LA VEGA; ABENSUR, (2014) trabalharam em um pedido CVRP sobre a decisão de substituição do equipamento.

Conforme apresentado, há uma grande quantidade de trabalhos relatados na literatura sobre a modelagem matemática do problema, diferentes abordagens de soluções e aplicações diversas do CVRP.

3 APLICAÇÃO

A aplicação narrada neste texto é um projeto de desenvolvimento de sistema de informação com otimização de rotas em uma empresa.

Esta empresa possui mais de 20 anos de existência, 80 funcionários e 14 caminhões. Deste montante, 9 caminhões são apenas empregados para realizar a entrega de bebidas no carnaval de Ouro Preto.

A empresa, que possui sua sede em Mariana e está a 14 km de Ouro Preto, representa as atividades do grupo no setor de bebidas em toda a região. Sendo é a cerveja o produto mais comercializado pela mesma. A figura 6 ilustra a distância da distribuidora e Ouro Preto.



Na cidade de Ouro Preto existem registros de mais de 300 repúblicas estudantis, que abrigam alunos durante o período de graduação na universidade. Dentre essas, cerca de 60 realizam festas anuais com o objetivo de arrecadar fundos para o pagamento de despesas como aluguel ou a realização de melhorias na habitação. Cada casa realiza festas para até 600 pessoas, formando uma rede com as demais para a obtenção de estadia para os turistas durante os dias da festa.

A maioria dos eventos realizados se concentram no centro histórico da cidade, que é tombado pelo patrimônio histórico mundial e sua arquitetura e estrutura são preservadas da maneira mais fidedigna à época da construção. Com isso as limitações de tráfego e peso limite dos veículos autorizados a circular no perímetro dificultam a realização das entregas, elevando o custo de realização das mesmas.

Somente veículos que não ultrapassem 7 toneladas podem realizar entregas em Ouro Preto. Além disso, o caminhão deve portar a estrutura tipo *sider* para proteção da carga, porém com possibilidade de abertura lateral para descarregamento.

Para a construção do *software* em si, foi necessário um estudo prévio das distâncias dos clientes mapeados pela empresa como os consumidores das bebidas. O resultado desse estudo é uma matriz de 57 linhas por 57 colunas antissimétricas que contém as distâncias de ida e volta de cada um dos pontos passíveis de serem alocados em uma rota. As distâncias foram obtidas tendo como base o *Google Maps*. Uma versão reduzida é apresentada na Tabela 1.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1	Acima do Zero - Sai de linha e vai pra coluna (IDA)/Abaixo do Zero-Sai de coluna e vai para linha (VOLTA)	Farid	4 Doses	171 MASCULINO	Adega	ALCATEIA	Alfarria	ANTARES	Aquariur	Arca do Naé	AREA 51	ARTE E MANHÃ/TIGRADA	BANG ALO/FORMIGUEIRO	BARRACA ARMADA	BAVIERA	BOITE CASA BLANCA
2	Farid	0	13	15	14	16	15	15	14	18	16	16	14	16	13	14
3	4 Doses	12	0	4,6	1,4	0,9	2,1	2,2	0,7	0,9	3,4	4,4	0,9	3,4	0,3	1,9
4	171 MASCULINO	16	5,1	0	1,3	1,4	0,8	0,7	4,5	3,2	0,8	1,8	3,2	1,1	4,6	4
5	Adega	18	0,9	1	0	4,5	2,2	2,2	1,3	0,9	2,9	3,9	0,9	2,9	1,4	0,6
6	ALCATEIA	17	0,6	1,8	3,3	0	2	2,1	0,6	0,6	1	0,3	0,6	0,9	0,3	0,9
7	Alfarria	17	1,8	0,8	2,2	2	0	0,1	1,6	0,8	1,3	2,3	0,8	1,6	2	1,5
8	ANTARES	17	1,9	0,7	2,2	1,8	0,1	0	1,7	1	1,2	2,1	0,9	1,4	1,6	1,6
9	Aquariur	12	0,6	4,5	0,4	0,6	1,6	1,7	0	0,5	2,6	3,9	0,6	2,9	0,6	0,4
10	Arca do Naé	16	1,1	3	1	0,6	0,8	1	0,5	0	2,1	3,3	0	2,4	0,8	0,9
11	AREA 51	17	3,1	0,8	2,6	0,7	1,3	1,2	2,6	2,1	0	0,9	2,3	0,3	2,8	2,8
12	ARTE E MANHÃ/TIGRADA	17	4,4	1,5	3,6	0,3	2,1	2	3,9	3,3	0,8	0	3,1	0,7	3,6	3,7

Tabela 1: Distâncias de ida e volta entre os pontos de entrega. FONTE: PRÓPRIO AUTOR

Para a implementação do sistema foi tomado como base um único produto que representa quase a totalidade do faturamento da empresa (Figura 8), trata-se de caixas de cerveja com capacidade de 12 garrafas. Suas dimensões são: 40x30x35 cm.



Figura 8 : Caixa de bebida. FONTE: PROPRIO AUTOR.

Existem parâmetros que podem ser alterados no sistema para fazer frente às características do problema, tais como: número de clientes, sua demanda e capacidade além do número de caminhões. O sistema permite também trabalhar com veículos de capacidades diversas, tendo a restrição apenas na diversidade dos itens.

O manuseio do *software* é descrito abaixo:

Em primeiro lugar, o usuário seleciona as repúblicas para as quais existe um pedido de entrega. Para realizar essa ação, há uma lista de repúblicas cadastradas com distâncias previamente mapeadas. A Figura 9 preestabelece a interface desta parte.

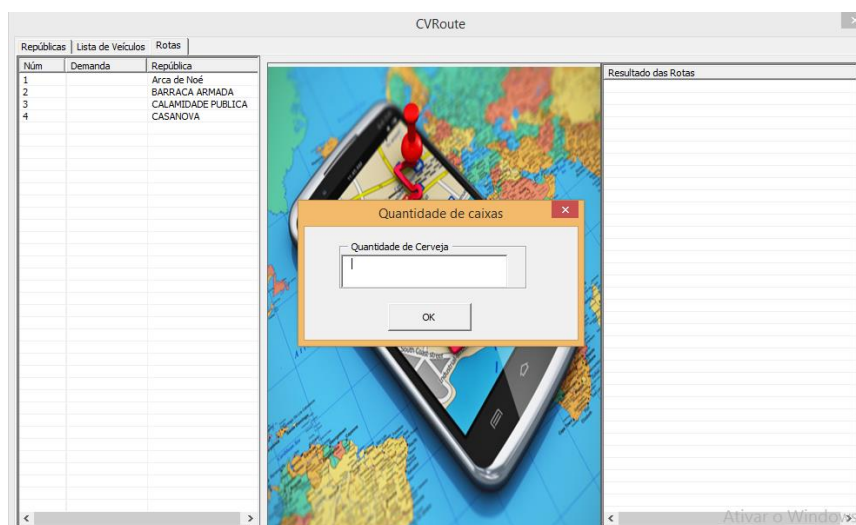


Figura 11: Tela de registro de demandas FONTE: PRÓPRIO AUTOR

Na Figura 12 existe o botão para dar um comando ao sistema e assim, iniciar o cálculo e apresentar a rota com a menor distância para realizar as entregas.

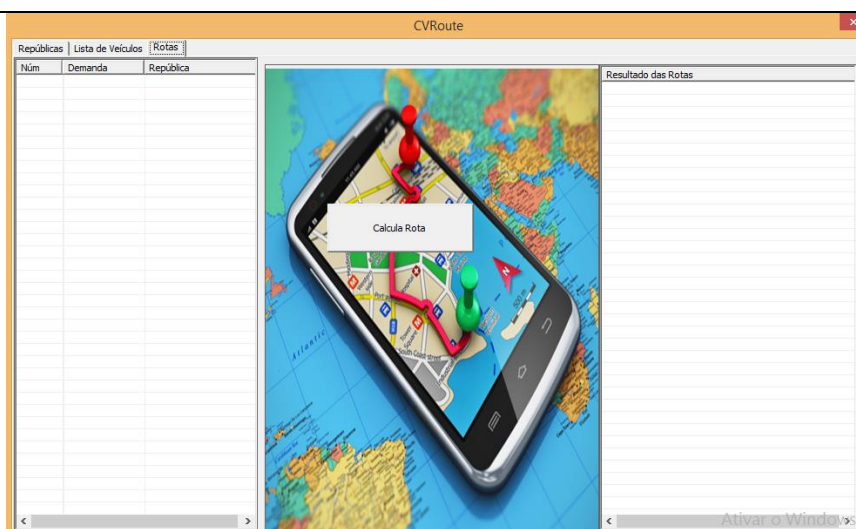


Figura 12: Botão para o cálculo de rotas. FONTE: PRÓPRIO AUTOR

3.1 Método de Solução Construtivo

O cálculo da solução inicial é feito por um método construtivo. O primeiro passo é preencher os caminhões com a demanda em questão, a rota é criada para cada veículo respeitando a capacidade do mesmo. No início, seleciona-se o cliente mais próximo do depósito, então o algoritmo “olha” para as demais repúblicas que o caminhão atenderá apontando como o ponto seguinte, aquela que tem a distância mínima em relação à primeira.

Todos os pontos a serem visitados são escolhidos deste modo e a condição de parada é a capacidade máxima do veículo.

4 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

As discussões sobre os problemas do CVRP se fazem importantes para a observação dos desafios existentes neste cenário. Muitas são as restrições a serem respeitadas nas diferentes e possíveis aplicações, já que em muitas delas existe o real potencial para redução de custos na implementação desses conceitos. Com isso neste trabalho evidencia-se e preconiza-se os conceitos do CVRP em uma aplicação prática na busca da solução de um problema real.

4.1 *Conclusões*

Neste trabalho realizou-se um estudo sobre o CVRP. Foi possível observar sua literatura e aplicação prática. A partir dessa pesquisa foi proposto um desafio que é o objetivo geral do trabalho, sendo ele a modelagem e roteirização de entrega de bebidas no carnaval na cidade de Ouro Preto.

Pode-se dizer que o objetivo geral fora atendido satisfatoriamente, pois no primeiro capítulo, foi feita a introdução buscando evidenciar sua definição, contextualização, justificativa, objetivos e estrutura do trabalho. Logo após pôde-se ver a revisão de literatura no capítulo 2, e no terceiro capítulo descreveu-se a aplicação, construção do sistema e exemplificação de uso.

A resposta a esta questão foi a própria criação do software que é uma aplicação com potencial de redução de custos na operação da atividade de entrega da empresa onde buscamos os dados iniciais.

Com a implementação do sistema na empresa espera-se uma redução de aproximadamente 30% do tempo de trabalho para cada carga, se compararmos as maiores rotas possíveis com a resposta do *software*, pois com o sistema é possível ordenar priorizando a menor distância evitando que percorra-se maiores distâncias na entrega das cargas.

A aplicação em um estudo de caso real serviu de metodologia. Conclui-se que esta se mostrou eficaz para atender ao objetivo estabelecido; pois na empresa a preocupação era apenas na realização das entregas sem nenhum planejamento da operação e, com a implementação será necessária uma nova análise de custos para comprovar as melhorias trazidas pelo sistema.

4.2 Recomendações

Na realização deste trabalho, encontrou-se empecilhos na determinação da localidade para a realização do estudo. Após essa escolha, foram encontradas dificuldades iniciais o tratamento das distâncias entre os pontos de entrega e o depósito e a escolha da plataforma para construção do *software*.

No sistema em si, decidiu-se pela aplicação apenas na roteirização por dificuldades com a plataforma escolhida, e também pelo conhecimento operacional para a aplicação na empresa.

Este trabalho teve limitações ainda não tratadas, tais como: implementação de uma versão do sistema para funcionar na web, tratamento de variáveis de armazenagem, comunicação em tempo real que são pontos onde se conseguem otimizar mais recursos desse tipo de operação, sendo esta a abordagem em trabalhos futuros.

A implementação de melhores soluções algorítmicas devem ser testadas também em trabalhos futuros, tais como métodos exatos Limites inferiores (BALDACCI *et al*, 2007; CONTARDOA *et al*, 2012; TOTH; VIGO, 2002); *Branch & Cut* (RALPHS, 2003) e heurísticas exemplificados no referencial teórico Otimização por Enxame de Partículas (AI; KACHITVICHYANUKUL, 2009; VENKATESAN *et al*, 2011), Algoritmo Genético (NAZIFA; LEE, 2012; MOHAMMED *et al*, 2012), Vizinhança Variável (CHEN *et al*, 2009), Colônia de Formigas (LEE *et al*, 2012; XING *et al*, 2008), Pesquisa em Grande Vizinhança (HEMMELMAYA; CORDEAU, 2012), Recozimento Simulado (GOLOZARI *et al*, 1967; TAVAKKOLI-MOGHADDAN *et al*,

2006), Evolução Diferencial (ONWUBOLU; DAVENDRA, 2009; RACHMAM *et al*, 2009).

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] T.J. Ai and V. Kachitvichyanukul. Particle swarm optimization and two solution representations for solving the capacitated vehicle routing problem. *Computers and Industrial Engineering*, 56(1):380–387, February 2009.
- [2] P. Augerat, J.M. Belenguer, E. Benavent, A. Corberán, D. Naddef, and G. Rinaldi. Computational results with a branch and cut code for the capacitated vehicle routing problem. Research Report 949-M, Université Joseph Fourier, Grenoble, France, 1995.
- [3] R. Baldacci, P. Toth, and D. Vigo. Recent advances in vehicle routing exact algorithms. *Operations Research*, 5(4):269–298, 2007.
- [4] A. Van Breedam. An analysis of the behavior of heuristics for the vehicle routing problem for a selection of problems with vehicle-related, customer-related, and time-related constraints. PhD thesis, University of Antwerp, 1994.
- [5] P. Chen, H. k. Huang, and X.-Y. Dong. Iterated variable neighborhood descent algorithm for the capacitated vehicle routing problem. *Expert Systems with Applications*, 37(2):1620 – 1627, 2010.
- [6] N. Christofides and S. Eilon. An algorithm for the vehicle dispatching problems. *Operational Research Quarterly*, 3(20):309–318, 1969.
- [7] N. Christofides, A. Mingozzi, and P. Toth. The vehicle routing problem. In *Combinatorial Optimization*, chapter 11, pages 315–338. John Wiley & Sons, 1979.
- [8] G. Clarke and J.W. Wright. Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points. *Operations Research*, (11):568–581, 1964.
- [9] C. Contardoa, V. Hemmelmayra, and T.G. Grainic. Lower and upper bounds for the two-echelon capacitated location-routing problem. *Computers and Operations Research*, 39(12):3185–3199, december 2012.
- [10] G.B. Dantzig and J.H. Ramser. The truck dispatching problem. *Management Science*, 6(1):80–91, october 1959.
- [11] M.L. Fisher. Optimal solution of vehicle routing problems using minimum k-trees. *Operational Research*, 42(1):626–642, 1994.
- [12] T.J. Gaskell. Cases for vehicle fleet scheduling. *Operational Research Quarterly*, 3(18):281–295, 1967.

- [13] B. Golden, E. Wasil, J. Kelly, and I. Chao. The impact of metaheuristics on solving the vehicle routing problem: algorithms, problem sets, and computational results. In *Fleet management and logistics.*, pages 33–56. Springer, 1998.
- [14] F. Golozari, A. Jafari, and M. Amiri. Application of a hybrid simulated annealing mutation operator to solve fuzzy capacitated location-routing problem. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 67(5–8):1791–1807, 2013.
- [15] R. Hayes. The delivery problem. Technical Report Management Science Research Report 106, Carnegie Institute of Technology, Pittsburgh, PA, 1967.
- [16] V. C. Hemmelmayra, J.-F. Cordeau, , and T. G. Crainic. An adaptive large neighborhood search heuristic for two-echelon vehicle routing problems arising in city logistics. *Computers & Operations Research*, 39(12):3215 – 3228, December 2012.
- [17] S.N. Kumar and R Panneerselvam. A survey on the vehicle routing problem and its variants. *Intelligent Information Management*, 4(3):66–74, 2012.
- [18] C.-Y. Lee, Z.-J. Lee, S.-W. Lin, and K.-C. Ying. An enhanced ant colony optimization (eaco) applied to capacitated vehicle routing problem. *Applied Intelligence*, 32(1):88 – 95, 2010.
- [19] M.A. Mohammed, M.S. Ahmad, and S.A. Mostafa. Using genetic algorithm in implementing capacitated vehicle routing problem. In *Computer Information Science (ICCIS). International Conference on*, volume 1, pages 257–262, 2012.
- [20] H. Nazifa and L.S. Lee. Optimised crossover genetic algorithm for capacitated vehicle routing problem. *Applied Mathematical Modelling*, 36(5):2110–2117, may 2012.
- [21] G.C. Onwubolu and D. Davendra. *Differential evolution: a handbook for global permutation-based combinatorial optimization*. Springer, 2009.
- [22] A. Rachman, A. Dhini, and N. Mustafa. Vehicle routing problems with differential evolution algorithm to minimize cost. In *20th National Conference of Australian Society for Operations Research*, 2009.
- [23] T.K. Ralphs. Parallel branch and cut for capacitated vehicle routing. *Parallel Computing*, 29(5):607–629, may 2003.
- [24] S.R.Venkatesan, D. Logendran, and D. Chandramohan. Optimization of capacitated vehicle routing problem using pso. *International Journal of Engineering Science and Technology*, 3(10):7469–7477, 2011.
- [25] R. Tavakkoli-Moghaddan, N. Safaei, and Y. Gholipour. A hybrid simulated annealing for capacitated vehicle routing problems with the independent route length. *Applied Mathematics and Computation*, 176(2):445–454, may 2006.

- [26] P. Toth and D. Vigo. Models, relaxations and exact approaches for the capacitated vehicle routing problem. *Discrete Applied Mathematics*, 123(1-3):487–512, november 2002.
- [27] L.-N. Xing, P. Rohlfshagen, Y.-W. Chen, and X. Yao. A hybrid ant colony optimization algorithm for the extended capacitated arc routing problem. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 41(4):1110 – 1123, 2011.
- [28] L.C. Yeun, W.R. Ismail, K. Omar, and M. Zirour. Vehicle routing problem: models and solutions. *Journal of Quality Measurement and Analysis*, 4(1):205– 218, 2008.
- [29] G. C. Silva, R. Ospina, A. Leite, H. Araújo. Problema de roteamento na coleta seletiva: estudo na cooperativa Pró-Recife, Recife-PE. In: XLVII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional (SBPO), August 2015 - Brazil.
- [30] G. F. Silva, C. C. Meneguzzi, A. A. B. Junior, Modelo de roteamento de veículos aplicado ao planejamento do inventário florestal. In: XLVII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional (SBPO), August 2015 - Brazil.
- [31] J. F. S Neto and V. Pureza, Um modelo matemático para um problema real de roteamento de veículos em áreas urbanas. In: XLVII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional (SBPO), August 2015 - Brazil.
- [32] F. R. S. Fernandes, I .M. P. Barbalho, M. S. Menezes, Proposta de um algoritmo memético para o problema de otimização em roteamento de veículos em uma empresa de laticínios. In: XLVII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional (SBPO), August 2015 - Brazil.
- [33] J. F. M. Sarubbi; C. M. Silva; D. S. Fonseca; M. F. Porto. Um Algoritmo Mixed Load para o Problema do Roteamento de Ônibus Escolares. In: XLVII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional (SBPO), August 2015 - Brazil.
- [34] R. de La Vega, E.O.Abensur, Um modelo de roteamento de veículos aplicado à decisão de substituição de equipamentos: um estudo de caso do mercado automobilístico brasileiro. In: XXXIV Encontro Nacional de Engenharia de Producao (ENEGEP), October 2014 - Brazil.
- [35] MIGUEL, Paulo Augusto Cauchick (coordenador) et al. Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações. 2ª ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.
- [36] WAZLAWICK, Raul Sidnei. Metodologia de pesquisa para ciência da computação. Rio de Janeiro: Elsevier, 2008.
- [37] Stefan Ropke and David Pisinger. An adaptive large neighborhood search heuristic for the pickup and delivery problem with time windows. *Transportation Science*, 40(4):455 – 472, November 2006.
- [38] SILVA, André Luis. Cálculo de Rotas com Carregamento Uni Dimensional em Múltiplas Pilhas. Belo Horizonte, 2016