

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E APLICADAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**UTILIZAÇÃO DO PROBLEMA DO CAIXEIRO VIAJANTE COM
COLETA DE PRÊMIOS PARA O PLANEJAMENTO DE ROTAS
EM SERVIÇOS DE TERRAPLANAGEM EM UM MUNICÍPIO DE
PEQUENO PORTE**

Danilo Morais Silva

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

JOÃO MONLEVADE

Fevereiro, 2016

UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E APLICADAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

Danilo Morais Silva

**UTILIZAÇÃO DO PROBLEMA DO CAIXEIRO VIAJANTE COM
COLETA DE PRÊMIOS PARA O PLANEJAMENTO DE ROTAS
EM SERVIÇOS DE TERRAPLANAGEM EM UM MUNICÍPIO DE
PEQUENO PORTE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia de Produção da Universidade Federal de Ouro Preto como parte dos requisitos para obtenção de grau em Bacharel em Engenharia de Produção.

Orientador: *Prof. Dr. Alexandre Xavier Martins*

João Monlevade
Fevereiro de 2016



ANEXO VIII – ATA DE DEFESA

Aos 29 dias do mês de fevereiro de 2016, às 20 horas, na sala D302 deste instituto, foi realizada a defesa do Trabalho de Conclusão de Curso pelo aluno Danilo Morais Silva, sendo a comissão examinadora constituída pelos professores: Dr. Alexandre Xavier Martins, Lucas Dietrich Silva Barbosa, Dr. Thiago Augusto Silva. O aluno apresentou o trabalho intitulado: Utilização do Problema do Caixeiro Viajante com Coleta de prêmios para o planejamento de rotas em serviços de terraplanagem em um município de pequeno porte.

A comissão examinadora deliberou, pela:

- () Aprovação
(x) Aprovação com Ressalva - Prazo concedido para as correções: 30 dias
() Reprovação com Ressalva - Prazo para marcação da nova banca: _____
() Reprovação

do aluno, com a nota 8,5. Na forma regulamentar e seguindo as determinações da resolução COEP12/2015 foi lavrada a presente ata que é assinada pelos membros da comissão examinadora e pelo aluno.

João Monlevade, 29 de fevereiro de 2016.



Professor Orientador: Dr. Alexandre Xavier Martins



Convidado: Lucas Dietrich Silva Barbosa



Dr. Thiago Augusto Silva

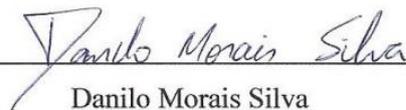


Aluno: Danilo Morais Silva

TERMO DE RESPONSABILIDADE

O texto do trabalho de conclusão de curso intitulado “*Utilização do Problema do Caixeiro Viajante com Coleta de Prêmios para o planejamento de rotas em serviços de terraplanagem em um município de pequeno porte*” é de minha inteira responsabilidade. Declaro que não há utilização indevida de texto, material fotográfico ou qualquer outro material pertencente a terceiros sem o devido referenciamento ou consentimento dos referidos autores.

João Monlevade, 29 de Fevereiro de 2016



Danilo Morais Silva

Agradecimentos

Em primeiro lugar gostaria de agradecer a Deus, fonte de verdade e luz, por sempre guiar meus passos e me dar sabedoria para concluir esta graduação. A minha família por ser à base da minha vida, sempre me apoiar e me dar condições de conseguir enfrentar os desafios que apareceram nessa trajetória.

Gostaria de agradecer também ao meu professor orientador e amigo Alexandre Xavier pela paciência e apoio técnico, que foram fundamentais nessa caminhada. A todos os professores e professoras com quem estudei, especialmente a Frederico César, que ao longo da graduação contribuíram para meu o aprendizado. A todos os queridos funcionários da UFOP, em destaque para Cássia Ottoni e Flávio Corrêa, que sempre me trataram carinho.

A Prefeitura Municipal de Laranjal e seus colaboradores pelo apoio e suporte para a realização deste trabalho.

A todos os amigos de Leopoldina e João Monlevade que me deram forças para nunca desistir durante este caminho. A Débora e sua família pelo amor e carinho. Agradeço também a República Granja, minha segunda família, que me acolheu muito bem durante minha trajetória.

E a todos que, de alguma forma, contribuíram para que eu pudesse me graduar como Engenheiro de Produção.

Muito Obrigado.

RESUMO

O atual momento de instabilidade da economia brasileira faz com que os órgãos públicos busquem alternativas para driblar a escassez de recursos que assolam, especialmente, o Poder Executivo no Brasil, e uma forma de equilibrar as contas é melhorando o desempenho dos serviços públicos. Por isso, este trabalho visa melhorar o planejamento das rotas de deslocamento dos serviços de terraplanagem em um município de pequeno porte utilizando como base um problema de Programação Linear conhecido como Problema do Caixeiro Viajante com Coleta de Prêmios. Com a utilização deste problema, através do *software* Lingo 15.0, foi possível estabelecer uma rota mais próxima da ótima e compará-la com a rota real traçada para analisar se era possível melhorar este planejamento. O resultado mostrou que o Problema do Caixeiro Viajante com Coleta de Prêmios foi eficaz, pois foi possível melhorar o planejamento para a redução dos custos envolvidos no processo.

Palavras chave: Terraplanagem, Programação Linear, Problema do Caixeiro Viajante.

ABSTRACT

The instability Brazilian economics current moment makes that the public agencies search for options to deal with the shortage of resources that wastes, mostly, the Executive Power in Brazil. A way to balance the expenses is to improve the fulfillment of the public services. Hence, the present academic work looks after improving the planning of the earthmoving displacement routes services in a small town, using as basis a Linear Programming problem called Prize Collecting Traveling Salesman Problem (PCTSP). With the utilization of this problem, through the software Lingo 15.0, was possible to establish a route nearer to the optimum and compare it to the real one traced route to analyze if it was possible to improve this planning. The results showed that the PCTSP was efficacious, because it was possible to improve the planning to the reduction of the costs involved in the process.

Key-words: Earthmoving, Linear Programmin, Traveling Salesman Problem.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 - Ciclo do PCP em uma indústria clássica.	8
Figura 02 - Uma representação do PCVCP.....	11
Figura 03 - Uma possível solução para o PCVCP.	12
Figura 04 - Processo do serviço de terraplanagem no município.	14
Figura 05 - Planilha para coleta de dados – Requisições de Serviços.....	16
Figura 06 - Planilha para coleta de dados - Serviços e Deslocamentos.....	17
Figura 07 - Mapa dos serviços - SI.	18
Figura 08 - Mapa dos serviços - SII.	18
Figura 09 - Matriz SI.	19
Figura 10 - Matriz SII.....	20
Figura 11 - Resultado Solver Lingo para Instância 1 (SI).	22
Figura 12 - Resultado Solver Lingo para Instância 1 (SI), $n \leq 5$	23
Figura 13 - Resultado Solver Lingo para Instância 2 (SII).	24
Figura 14 - Resultado Solver Lingo para Instância 2 (SII), $n \leq 5$	25
Figura 15 - Rotas propostas no modelo.	25

LISTA DE GRÁFICOS

Gráficos 01 - Participação dos setores na economia brasileira.	6
---	---

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Problema de Pesquisa	2
1.2 Objetivos	2
1.2.1 Objetivo Geral	2
1.2.2 Objetivos Específicos.....	2
1.3 Justificativa.....	3
1.4 Estrutura do Trabalho	3
2 METODOLOGIA.....	4
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
3.1 Setor de Serviços.....	5
3.2. Planejamento e Controle da Produção	7
3.3 Programação Linear.....	9
3.4 Problema do Caixeiro Viajante com Coleta de Prêmios	10
3.4.1 Descrição do PCVCP	Erro! Indicador não definido.
4 DESENVOLVIMENTO.....	12
4.2 Coleta de Dados	14
4.2.1 Procedimento Para a Coleta de Dados	14
4.2.2 Dados Obtidos	17
4.3 Formulação Matemática do PCVCP.....	20
5 ANÁLISE DOS RESULTADOS	22
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	26
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	27

1 INTRODUÇÃO

A administração pública é grande responsável para o crescimento de um local, mas também está atrelada ao bom funcionamento do cotidiano das pessoas. As prefeituras municipais de pequenos municípios têm papéis importantes nesse processo, pois são elas que gerenciam a maior parte das atividades consideradas rotineiras.

Para ressaltar essa importância, Bacelar (2009) coloca que as “pequenas cidades em que a base produtiva e de empregos é pequena, seus habitantes vivem quase em total estado de dependência do poder público, exemplificado pelas prefeituras, e estas tornam-se o maior empregador dos municípios pequenos”.

Para que a gestão pública municipal seja mais eficiente, as prefeituras são subdivididas em secretarias, que irão auxiliar os prefeitos a cumprirem seus papéis. Cada secretaria é responsável por determinado setor dentro da administração, e uma das mais importantes é a Secretaria de Obras.

Em geral, a Secretaria de Obras de uma prefeitura é responsável por todo tipo de manutenção, limpeza pública e execução de projetos próprios relacionados à construção civil. É ela também, juntamente com outras secretarias, como as de Agricultura e Meio-Ambiente, que necessita utilizar maquinário pesado para realização das obras.

Porém, por vezes, as prefeituras, especialmente as de pequenas cidades, sentem dificuldades na gestão dessas máquinas, seja pela alta demanda, pública ou privada, ou pela escassez de recursos públicos. Por isso, um estudo para identificar se o trabalho das máquinas e dos operadores está sendo bem realizado se faz necessário.

Neste estudo serão coletados dados como tempo de deslocamento das máquinas, tempo de operação, ocorrência de quebras do maquinário, bem como o seu tempo de conserto, demanda de serviços, entre outros. Com todos esses dados será possível definir a melhor rota dos veículos através do Problema do Caixeiro Viajante com Coleta de Prêmios (PCVCP).

Com a definição das rotas ótimas para a realização do trabalho das máquinas, pode-se comparar com a atual gestão das máquinas e analisar se o processo pode ou não ser melhorado. Além disso, podem-se reduzir os custos de operação, uma vez que as máquinas gastariam menos combustível para realizar as mesmas atividades.

1.1 Problema de Pesquisa

A motivação deste trabalho parte da indagação a seguir: As rotas utilizadas pelas retroscavadeiras nos trabalhos cotidianos da pequena prefeitura em questão são realmente as que possuem menor custo de deslocamento associados?

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

Utilizar o Problema do Caixeiro Viajante com Coleta de Prêmios para reduzir os custos de deslocamento inerentes nos serviços de terraplanagem do município em questão.

1.2.2 Objetivos Específicos

- 1- Descrever o processo de trabalho das retroscavadeiras no município de pequeno porte em questão.
- 2- Definir a melhor rota das máquinas atendendo aos pré-requisitos propostos.
- 3- Comparar se as rotas propostas possuem um custo menor que as atuais praticadas pela prefeitura em questão.

1.3 Justificativa

A dificuldade atual das prefeituras municipais na administração pública, em relação a uma crescente diminuição da razão entre a arrecadação de impostos e custos operacionais no município, faz com que se aumente a responsabilidade na gestão do prefeito.

Além disso, de acordo com requisitos pré-determinados, como prêmio mínimo e o melhor aproveitamento espacial ao definir as rotas dos veículos, pode-se indicar se as rotas propostas para a realização das atividades de terraplanagem no município em questão são realmente menos onerosas para a prefeitura, visando não somente a realização das atividades, como o cumprimento da responsabilidade fiscal incumbida ao prefeito municipal.

1.4 Estrutura do Trabalho

O trabalho é composto por seis capítulos que formam uma sequência lógica para a construção do entendimento em relação ao tema. Começando pela introdução, na qual consta uma breve contextualização da pesquisa, bem como o problema, os objetivos e a justificativa. O capítulo 2 terá a metodologia utilizada e as fases lógicas na construção do modelo.

No capítulo 3 será feita uma revisão da literatura referente aos temas que serão abordados no trabalho, elencando os conceitos principais presentes no trabalho. O capítulo 4 irá apresentar a descrição do processo e a coleta de dados para a utilização no modelo. Ainda nesta parte, será realizada a construção do modelo, bem como os critérios utilizados.

O capítulo 5 irá conter as análises obtidas com a realização do estudo e o último capítulo será composto das considerações finais do trabalho.

2 METODOLOGIA

A metodologia de pesquisa utilizada varia de acordo com a natureza do trabalho. Segundo Asti Vera (1979), toda pesquisa é iniciada para solucionar algum problema. A pesquisa então é realizada quando existe um problema, porém não há informações suficientes para solucioná-lo. Para Gil (1999, p.42), “o objetivo fundamental da pesquisa é descobrir respostas para problemas mediante o emprego de métodos científicos”.

A pesquisa científica pode apresentar dois tipos de abordagens, qualitativa ou quantitativa. Este trabalho possui caráter quantitativo e que, de acordo com Martins (2010), os dados são mensuráveis e o pesquisador não interfere nas variáveis.

Pesquisa de campo está relacionada às observações e coleta de dados referentes a fatos, fenômenos e processos tais como ocorrem na realidade, bem como as análises e interpretações dos mesmos, com base teórica consistente, a fim de compreender e solucionar o problema em questão.

Assim, este trabalho pode ser classificado como uma pesquisa de campo de caráter quantitativo, pois todos os dados serão quantificados para a construção das rotas mais próximas das ótimas dos serviços de terraplanagem e comparadas com as rotas reais utilizadas, porém não haverá interferência no processo.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este trabalho consiste em definir a melhor rota para realizar determinado serviço oferecido pela prefeitura em questão. Para isso é necessário que se entenda a importância do setor de serviços para a economia brasileira e mundial, bem como a necessidade da prestação de serviços públicos com qualidade e menor custo para os órgãos públicos. Todos os pontos abaixo citados são importantes para contextualizar o problema e auxiliar no desenvolvimento do trabalho.

Para que se tenha um procedimento eficaz no tratamento do serviço é necessário que se planeje e controle a execução das atividades. Para isso, este trabalho busca contextualizar a técnica de Planejamento e Controle da Produção, inclusive voltada para o setor terciário. Com atingir o objetivo traçado este trabalho irá abordar um Problema de Caixeiro Viajante com Coleta de Prêmios.

3.1 Setor de Serviços

No mercado brasileiro atual o setor de serviços é o ramo de maior participação na economia, segundo o Valor Agregado Bruto (VAB) de 2012 fornecido pelo IBGE. Caracterizado por uma grande heterogeneidade, o setor de serviços se destaca pela diversidade em aspectos como nicho de mercado, porte das unidades produtivas, densidade de capital, entre outros.

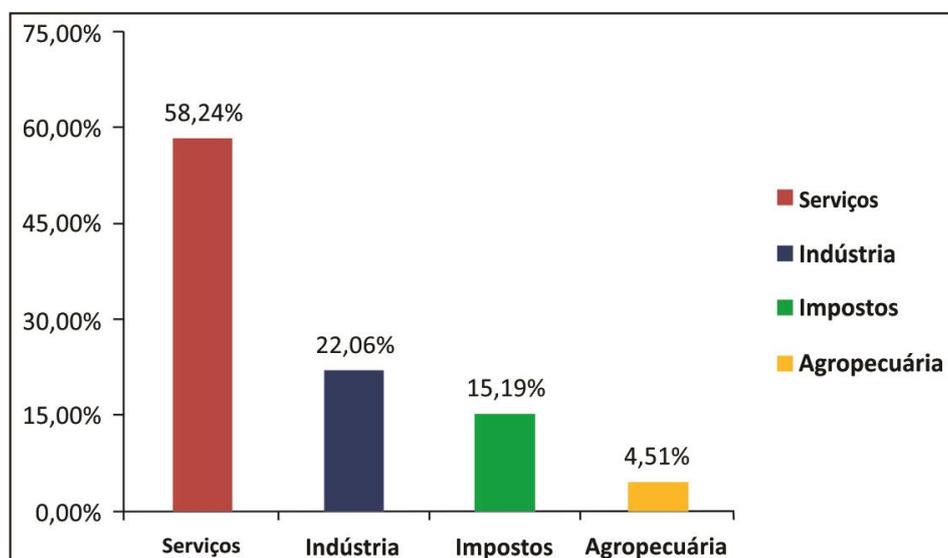
Historicamente classificado como setor secundário da economia e de apoio para o ramo produtivo, os serviços vem tendo cada vez mais importância no desenvolvimento econômico. O papel de propulsor da economia que antes era atribuído às atividades industriais, agora passa a ser do setor terciário.

O setor deixa de possuir caráter residual na economia e se transforma de produtos intangíveis em serviços modernos em informação, especialmente ligados aos avanços da tecnologia da informação, e possuindo características de padronização semelhantes aos setores primários, se tornando uma importante peça da economia e para os demais setores (KON, 1999).

Deve-se considerar também que o setor de serviços atua como interlocutor e como base de apoio às demais atividades da economia, sendo peça indispensável no desenvolvimento econômico, ainda que este desenvolvimento não esteja direcionado especificamente ao setor (KON, 1999).

Essa importância pode ser traduzida ao se analisar os números recentes da economia brasileira. De acordo com o Instituto Brasileiro de Pesquisa e Estatística (IBGE), o setor

de serviços foi responsável por 58,24% do Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro e por 78,4% dos empregos formais no ano de 2012.



Gráficos 01 - Participação dos setores na economia brasileira.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2015. Dados IBGE (VAB - 2012).

No âmbito dos Serviços Públicos é importante se ter a noção do papel do Estado no processo. O Estado tem por natureza a responsabilidade de garantir o bem da coletividade e o bom funcionamento da sociedade. O termo “*res publica*” é proveniente do latim e significa, literalmente, “coisa pública”. É, portanto, algo que pertence à comunidade e não pode ser propriedade privada de nenhum indivíduo.

Tendo os indivíduos que comandam o setor público a obrigação de trabalhar em prol da coletividade e do bem comum, os serviços públicos surgem para ser esse elo entre o trabalho do Estado e a comunidade.

De acordo com Aragão (2009), o conceito de serviço público historicamente tem sua raiz na França e possui uma grande amplitude, podendo ser o equivalente a toda atividade estatal. Logo, os serviços públicos podem ser definidos principalmente como todos aqueles praticados pela Administração Pública, regidos por normas e regras estatais, e que visam à satisfação das necessidades da comunidade.

3.2. Planejamento e Controle da Produção

O Planejamento e Controle da Produção (PCP) consiste em uma série de medidas que definem o que, quanto e quando produzir e comprar, bem como os recursos necessários no processo (CORREA, et al., 2001).

Os processos de programação e controle da produção caracterizam-se por alinhar o fornecimento de produtos e serviços à demanda projetada, oferecendo suporte para que as atividades da produção possam ser executadas, além de gerar reflexos em diversos setores da organização (Slack, 1997).

Esse planejamento, em geral, é definido a partir da interação dos setores de engenharia, compras e estoques da empresa, que formam um ciclo perene de transformação de materiais em produtos prontos. De um lado, esse ciclo é alimentado com as compras de materiais, e do outro da demanda de mercadorias acabadas geradas pelas vendas.

Em resumo, em uma indústria clássica, o setor de Vendas define uma demanda esperada de um produto. Com essa previsão de demanda, o setor de Produção irá planejar o processo de produção do produto e os materiais que deverão ser adquiridos pelo setor de Compras. Com os materiais adquiridos, estes irão ser estocados até que a Produção cumpra o planejamento e transforme a matéria-prima em produtos acabados, que irão novamente para o Estoque. Por fim, novamente o setor de Vendas será acionado, destinando os produtos ao mercado e fornecendo nova previsão de demanda, reiniciando o ciclo.

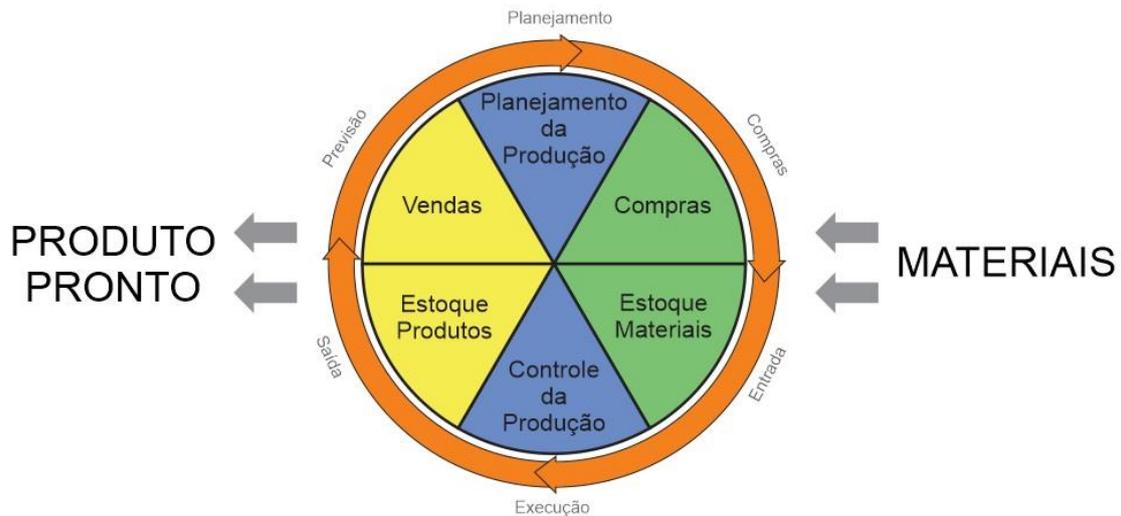


Figura 01 - Ciclo do PCP em uma indústria clássica.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2015.

O PCP trata de diferentes horizontes de planejamento, nos quais requerem análises distintas, logo, planejamentos igualmente diferentes. Este é um processo contínuo, no qual se deve ter a real noção da situação presente, visão de futuro esperada, objetivos e como todos esses fatores afetam as decisões cotidianas da produção.

O horizonte está ligado a dois pontos importantes, que são a estratégia definida pela organização e a necessidade produtiva da empresa. A partir da definição da estratégia, a empresa irá planejar suas ações para atingir as metas traçadas. Logo, este planejamento deverá ser de médio ou longo prazo, propondo como o trabalho será realizado ao longo do tempo para alcançar os objetivos. Por outro lado, a empresa possui uma necessidade produtiva imediata que precisa ser satisfeita. Assim, as atividades de curto prazo são definidas, para especificar exatamente aquilo que será produzido, e os recursos que isso irá demandar.

O PCP aplicado ao setor de serviços possui a mesma lógica que é aplicada às indústrias, com a diferença de que, segundo Paladini (1995), em serviços os processos são realimentados ou controlados de acordo com as necessidades dos clientes.

As prestadoras de serviços devem alinhar a estratégia da empresa à demanda identificada. Isso irá expor os cenários possíveis para a prestação do serviço e como ele deverá ser executado.

A prestação de serviços contém uma particularidade em relação às indústrias convencionais, que é a participação direta do cliente no processo produtivo. Isso afeta o modo como o serviço deve ser planejado, pois este deve ser mais flexível devido à presença direta do cliente no processo.

Outro ponto que deve ser levado em consideração ao se ofertar o serviço consiste na sua viabilidade financeira e estratégica para a empresa. Cabe à organização avaliar se os recursos disponíveis e os custos atrelados às atividades são compatíveis ao ganho financeiro ou estratégico real que será adquirido.

No caso de uma prefeitura, o gestor do setor de obras públicas, por exemplo, deve analisar de acordo com a estratégia definida se os ganhos em potencial para a sociedade como um todo são realmente suficientemente relevantes frente ao custo atrelado para realizar o trabalho.

3.3 Programação Linear

A Programação Linear (PL) consiste em uma técnica de otimização que ao se deparar com situações nas quais temos diversas alternativas de escolha, ela visa encontrar o ótimo global (CHAVES, 2003). O PCVCP se trata de um problema de PL, pois tanto a função objetivo, quanto as restrições consistem em equações ou inequações lineares.

Segundo Colin (2007), citado por Ferreira e Bacheга (2011), a PL consiste em

“Uma das técnicas mais poderosas dentre as ferramentas gerenciais disponíveis, já que existe uma segurança relativamente grande de não existir outra solução melhor quando a modelagem e a solução são apropriadas. As pessoas que se utilizam dessa técnica frequentemente a

veem como uma condição essencial para a lucratividade e a sobrevivência no longo prazo e os usuários que se utilizam dela com menor frequência encontram no método fontes de vantagem competitiva duradoura.”

(FERREIRA & BACHEGA, 2011, p.3)

Como as variáveis que serão utilizadas neste trabalho somente poderão assumir valores inteiros, este modelo, então, pode ser classificado como de Programação Linear Inteira, ou mesmo de Programação Inteira (PRADO 1999, apud CHAVES 2003).

3.4 Problema do Caixeiro Viajante com Coleta de Prêmios

O Problema do Caixeiro Viajante (PCV) é um dos mais conhecidos e tradicionais problemas de programação matemática existentes na literatura (STÜTZLE & DORIGO, 1999). A descrição do PCV consiste em um caixeiro viajante que deve visitar um conjunto de n cidades, iniciando num ponto inicial, chamada de cidade de *origem*, e percorrendo todas as $n-1$ cidades uma única vez e retornando ao final na *origem* com a menor distância possível para atingir todas as cidades uma única vez. Cada cidade é dita como um vértice $v_i \in V$ e as rotas e sub-rotas como arestas $(i,j) \in A$.

Em sua maioria os problemas de roteamento trabalham com rotas entre pontos de oferta ou demanda. Diversos problemas de roteamento podem ser formulados com a generalização do PCV. No caso do PCVCP, Chaves (2003) define que “o PCVCP pode ser associado a um caixeiro viajante que coleta um prêmio w_k , não negativo, em cada cidade k que ele visita e paga uma penalidade p_l para cada cidade l que não visita, com um custo c_{ij} de deslocamento entre as cidades i e j . O problema encontra-se em minimizar o somatório dos custos da viagem e penalidades, enquanto inclui na sua rota um número suficiente de cidades que permitam coletar um prêmio mínimo, w_0 , pré-estabelecido.”

A Figura 02 representa um PCVCP, onde se tem a *origem*, v_0 , e alguns vértices, v_n , onde todos os vértices estão unidos por arestas ou rotas, em que cada uma possui um custo de deslocamento próprio. Cada vértice i possui um prêmio e uma penalidade (w_i e p_i , respectivamente), e a *origem* possui prêmio *zero* e penalidade infinita, já que se trata do destino final.

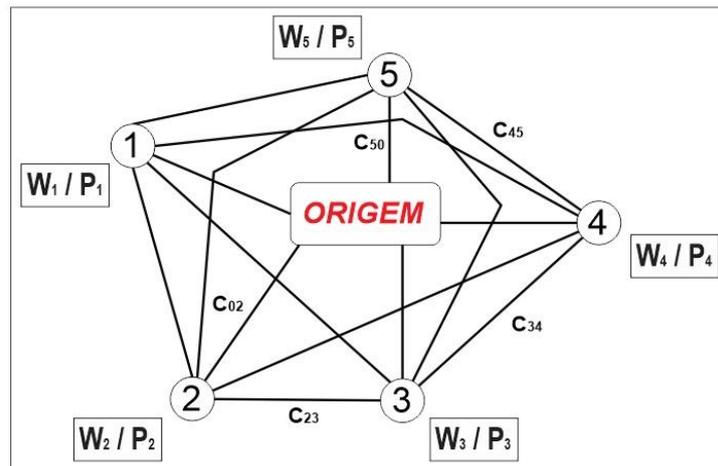


Figura 02 - Uma representação do PCVCP.

Fonte: Chaves, 2003, adaptado pelo autor.

Em relação aos serviços de terraplanagem no município, suponha que se tenham os mesmos vértices da Figura 04 como pontos de demanda de serviço, sendo que todos possuem um mesmo tempo de operação e pudessem ser realizados todos no mesmo dia, por exemplo. Se por alguma adversidade a máquina ficasse parada por um período, devido à forte chuva, por exemplo, e um dos vértices não fosse contemplado, uma possível sub-rotas ficaria como mostra a Figura 03.

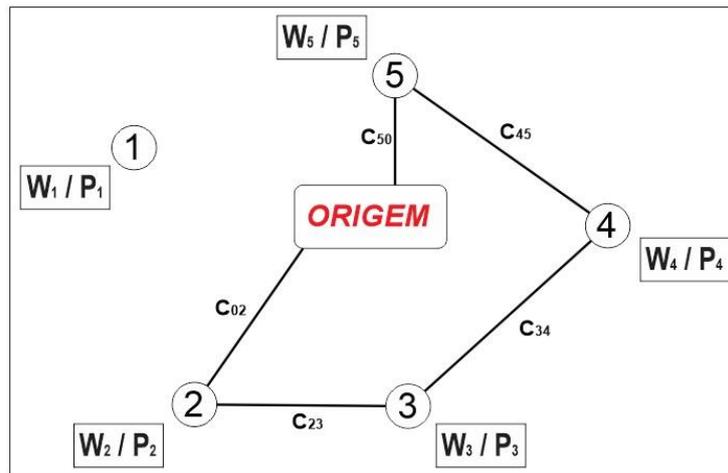


Figura 03 - Uma possível solução para o PCVCP.

Fonte: Chaves, 2003, adaptado pelo autor.

Neste caso, a sub-rotas representada na Figura 05 seria $R = \{0,2,3,4,5,0\}$, ou seja, o caixeiro sairia da *origem* (v_0) com um prêmio igual a 0, e percorreria os vértices 2,3,4 e 5, obtendo o prêmio W ($w_2 + w_3 + w_4 + w_5$), e retornaria a v_0 . O caixeiro então teria como custo C ($c_{02} + c_{23} + c_{34} + c_{45} + c_{50}$) e, por não visitar v_1 , a penalidade P (p_1). Assim, o objetivo é coletar ao menos um prêmio e minimizar os custos e as penalidades.

4 DESENVOLVIMENTO

4.1 Descrição do Processo

A prefeitura em questão continha um número insuficiente de operadores para cada tipo de máquina. No caso das retroscavadeiras, existia apenas um funcionário bem capacitado para operação, além de um “tratorista” que por vezes era utilizado, mesmo não tendo a expertise ideal para operar a retroscavadeira.

A prefeitura do município em que foi realizado o estudo conta com a frota de duas retroscavadeiras, dois tratores de pequeno porte e uma motoniveladora, também conhecida como patrol. Para cada máquina, o operador necessita de capacidade técnica

e conhecimentos tácitos diferentes, não sendo recomendado que um operador atue em um equipamento em que não é especializado.

A motoniveladora é utilizada para plainar o terreno, deixando-o uniforme. Sua utilização é comum para correções de estradas, lotes e terreiros. Os tratores, por sua vez, realizam trabalhos de terraplanagem em serviços de baixa complexidade e auxílio em construções.

As retroescavadeiras realizam todos os serviços de terraplanagem, escavação de poços e barrancos, abertura de estradas, entre outros. Este trabalho irá concentrar no trabalho das retroescavadeiras, pois possuem a maior demanda de serviços dentre as máquinas, com filas de espera maiores.

Mesmo a prefeitura possuindo um “tratorista” que também pode realizar serviços de terraplanagens simples, este trabalho somente irá considerar o serviço realizado pela retroescavadeira. Como existe apenas um funcionário qualificado no momento para operá-la, mesmo a prefeitura possuindo mais de um veículo, somente o planejamento dos serviços de uma retroescavadeira será considerado.

Os pedidos dos serviços da retroescavadeira se dão, em geral, por meio de contato direto com o Secretário de Obras, que registra o pedido e agenda com os clientes uma data provável para realização do serviço. É importante salientar que o cliente deve pagar uma taxa na prefeitura para utilização da máquina antes do agendamento.

O agendamento dos serviços é realizado para que tanto o gestor da área quanto o cliente, tenham um horizonte de referência para realização do serviço. Porém, por se tratar de um trabalho que é diretamente afetado pelas condições climatológicas, o agendamento pode sofrer alterações.

Outro ponto que pode interferir na realização dos serviços é a constante quebra de peças da máquina. A manutenção da máquina, quase sempre corretiva, é constantemente necessária, devido à intensidade com que a retroescavadeira trabalha. E este tempo de manutenção, por vezes possui interferência com a questão financeira da prefeitura, já

que existem momentos de limitações financeiras no município, especialmente no contexto de crise atual.

Com o agendamento realizado, o gestor da área, em posse da agenda, define onde e quando os operadores irão trabalhar. Não existe uma regra nesse caso, mas geralmente essa escala de trabalho é feita semanalmente. Com a escala definida, o gestor transmite as informações ao Coordenador de Obras urbanas, também conhecido como Encarregado de Obras. Este funcionário irá indicar ao operador de máquina o local de trabalho e acompanhar o processo, oferecendo suporte àquilo que for necessário. Por fim, o operador se desloca até o local indicado e realiza o serviço.

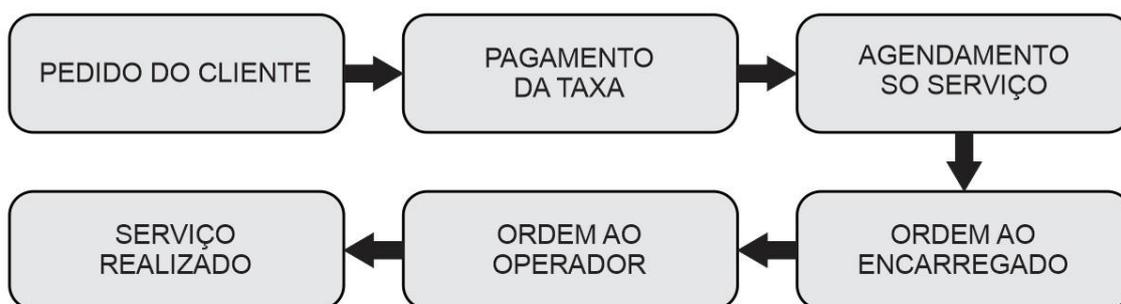


Figura 04 - Processo do serviço de terraplanagem no município.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2016.

4.2 Coleta de Dados

4.2.1 Procedimento Para a Coleta de Dados

Antes da coleta de dados se iniciar, foi necessário compreender a fundo como era o funcionamento do processo, desde o pedido do cliente até a realização do serviço pelo operador. Essa etapa foi importante, pois proporcionou ao autor o entendimento necessário para saber exatamente os dados que deveriam ser coletados.

Primeiramente, foi feita uma entrevista com o gestor da área. Essa entrevista foi importante para o esclarecimento correto do processo. Além disso, o gestor pôde expor as dificuldades inerentes ao processo e o modo como a prefeitura trata os problemas.

Após a entrevista, foi realizado o acompanhamento do processo no período de um mês. Durante este tempo, foi possível presenciar desde o agendamento dos serviços, até a execução dos serviços com o acompanhamento do operador. Assim, todas as variáveis relevantes no processo foram identificadas para que se gerassem as coletas de dados.

Com todas as variáveis relevantes do processo definidas, a coleta de dados se deu mediante o preenchimento manual de planilhas elaboradas para esse fim. Essas planilhas foram divididas em três vertentes: requisições de serviços; defeitos e reparos da máquina; e serviços e deslocamentos. Os dados foram coletados entre os dias 11 e 29 de dezembro, tendo apenas 11 dias de expediente nesse intervalo. Os dados reais serão comparados com os resultados do modelo do trabalho para saber se o planejamento das rotas poderá ser melhorado.

As requisições de serviços geradas foram coletadas através de uma planilha, na qual o próprio gestor da área a preenchia. Na parte superior desta planilha, temos a indicação do veículo utilizado e o nome do operador. Na parte inferior continha o número do serviço, o número do dia em que o serviço foi realizado, o local, o horário e o número de horas programadas para cada serviço, como é mostrado na Figura 05.

RELATÓRIO DE COLETA DE DADOS					
Veículo: Retroescavadeira		Semana: 1			
Operador: Leleco					
Serviço	Tempo de Deslocamento		Local	Tempo de Serviço	
	Saída	Chegada		Chegada	Saída
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					

Figura 06 - Planilha para coleta de dados - Serviços e Deslocamentos.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2016.

4.2.2 Dados Obtidos

Após a coleta dos dados das requisições e dos pedidos efetivamente atendidos, os dados foram plotados para construção dos mapas onde os serviços foram realizados. Os pedidos foram divididos em duas partes, SI e SII. A primeira parte, ou SI, se refere ao intervalo de dias de 11 e 17 de dezembro e a segunda parte, SII, de 18 e 29 de dezembro. Durante a SII, a prefeitura teve um período de recesso para o Natal, por isso houve a necessidade de se estender um pouco o intervalo.

Os dados gerados foram inseridos no aplicativo *Google Maps* para a geração dos mapas dos serviços. Os locais foram divididos em grupos e representados com cores diferentes. A Figura 07 representa SI e a Figura 08, SII.

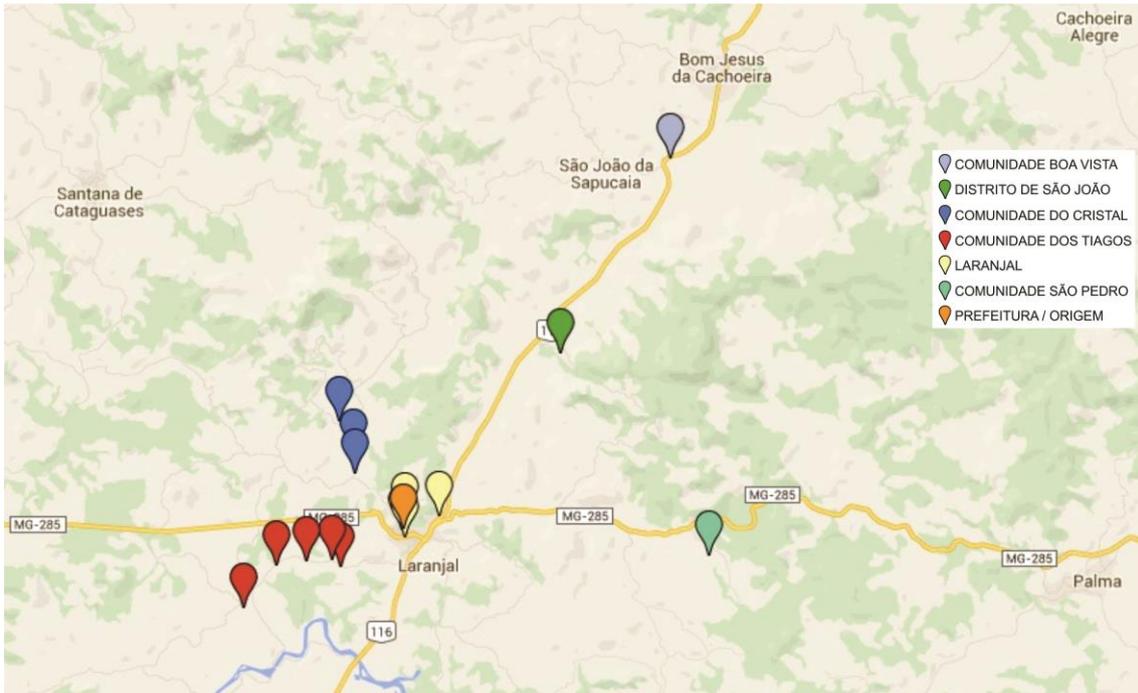


Figura 07 - Mapa dos serviços - SI.

Fonte: *Google Maps*, elaborado pelo autor, 2016.

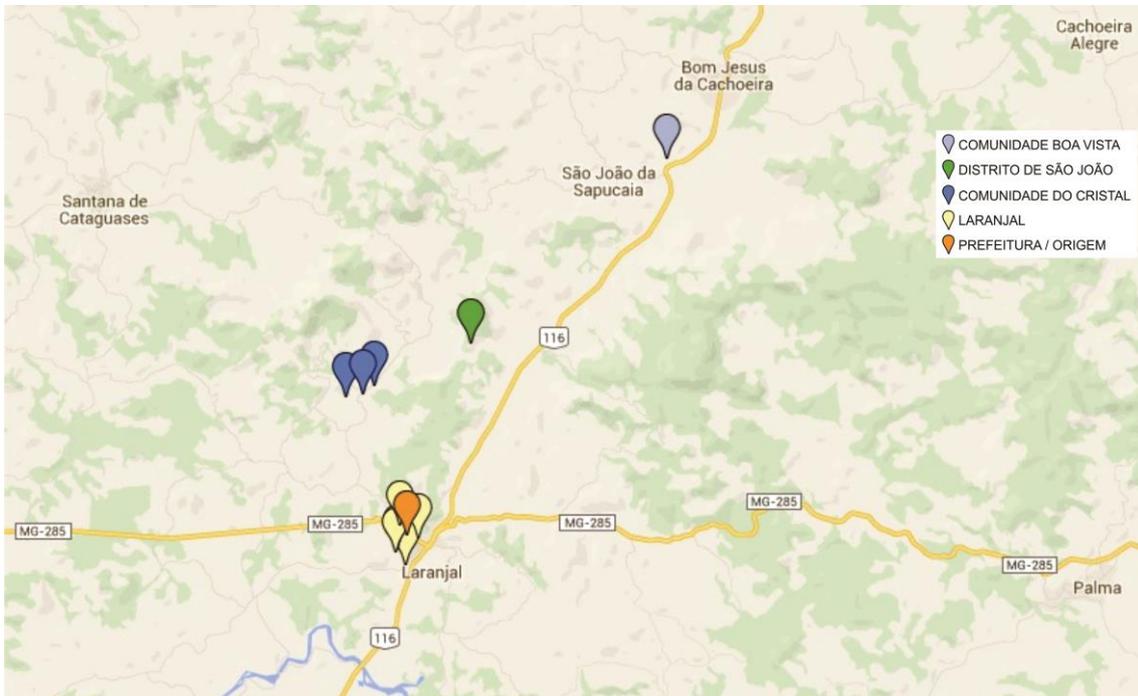


Figura 08 - Mapa dos serviços - SII.

Fonte: *Google Maps*, elaborado pelo autor, 2016.

Todos os pedidos tiveram as distâncias entre si medidas para realizar o cálculo dos custos de deslocamentos referentes a cada aresta. Para calcular c_{ij} , foram utilizadas as distâncias entre todos os vértices e uma estimativa de gasto de combustível para realizar o deslocamento. A estimativa foi feita de acordo com a média de combustível gasta pela máquina durante um dia de serviço em um intervalo de 3 meses. Estes dados foram cedidos pelo responsável do setor de frotas da prefeitura.

Os prêmios coletados no problema seriam as próprias taxas cobradas para realização do serviço em cada localidade. As penalidades também seriam iguais às taxas, pois uma vez que o vértice não é visitado a prefeitura deixa de obter aquele valor e o cliente pode pedir o estorno da taxa paga previamente. Vale ressaltar que w_0 é igual 0 e p_0 é igual a ∞ . As matrizes de w_i , p_i e c_{ij} de SI e SII podem ser vistas nas figuras 9 e 10, respectivamente.

v_i	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
w_i	0	110	165	110	165	110	275	165	110	220	165	165	165	55	165	220
p_i	∞	110	165	110	165	110	275	165	110	220	165	165	165	55	165	220
$i \backslash j$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0	0	12,30	13,72	1,89	14,90	13,34	17,03	19,64	23,66	31,23	19,87	9,94	24,98	0,47	1,89	7,10
1	12,30	0	26,02	14,20	27,21	25,65	4,73	31,94	40,69	33,12	32,18	2,37	37,29	12,78	14,20	19,40
2	13,72	26,02	0	15,61	1,18	27,07	30,76	5,91	9,94	17,51	33,59	23,66	38,71	14,20	15,61	20,82
3	1,89	14,20	15,61	0	16,80	15,24	18,93	21,53	25,55	33,12	21,77	11,83	26,88	2,37	3,79	8,99
4	14,90	27,21	1,18	16,80	0	28,25	31,94	4,73	8,75	16,32	34,78	24,84	39,89	15,38	16,80	22,00
5	13,34	25,65	27,07	15,24	28,25	0	30,38	32,98	37,00	44,57	33,22	23,28	11,64	13,82	15,24	20,44
6	17,03	4,73	30,76	18,93	31,94	30,38	0	28,63	24,60	17,03	36,91	7,10	42,02	17,51	18,93	24,13
7	19,64	31,94	5,91	21,53	4,73	32,98	28,63	0	4,02	11,59	39,51	42,35	26,17	20,11	21,53	13,01
8	23,66	40,69	9,94	25,55	8,75	37,00	24,60	4,02	0	7,57	43,53	38,33	48,64	24,13	25,55	30,76
9	31,23	33,12	17,51	33,12	16,32	44,57	17,03	11,59	7,57	0	51,10	30,76	56,21	31,70	33,12	38,33
10	19,87	32,18	33,59	21,77	34,78	33,22	36,91	39,51	43,53	51,10	0	29,81	44,86	20,35	21,77	26,97
11	9,94	2,37	23,66	11,83	24,84	23,28	7,10	42,35	38,33	30,76	29,81	0	34,92	10,41	11,83	17,03
12	24,98	37,29	38,71	26,88	39,89	11,64	42,02	26,17	48,64	56,21	44,86	34,92	0	25,46	26,88	32,08
13	0,47	12,78	14,20	2,37	15,38	13,82	17,51	20,11	24,13	31,70	20,35	10,41	25,46	0	2,37	7,57
14	1,89	14,20	15,61	3,79	16,80	15,24	18,93	21,53	25,55	33,12	21,77	11,83	26,88	2,37	0	8,99
15	7,10	19,40	20,82	8,99	22,00	20,44	24,13	13,01	30,76	38,33	26,97	17,03	32,08	7,57	8,99	0

Figura 09 - Matriz SI.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2016.

v_i	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
w_i	0	165	165	220	165	110	110	275	55	110	220
p_i	∞	165	165	220	165	110	110	275	55	110	220
$i \backslash j$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	0	4,02	5,20	5,20	23,19	1,89	1,42	1,89	2,84	37,47	21,01
1	4,02	0	9,23	9,23	27,21	5,91	5,44	29,10	30,05	41,50	25,03
2	5,20	9,23	0	10,41	28,39	7,10	6,62	30,28	31,23	42,68	26,21
3	5,20	9,23	10,41	0	28,39	7,10	6,62	30,28	31,23	42,68	26,21
4	23,19	27,21	28,39	28,39	0	25,08	24,60	1,89	2,84	60,66	44,19
5	1,89	5,91	7,10	7,10	25,08	0	3,31	26,97	27,92	39,37	22,90
6	1,42	5,44	6,62	6,62	24,60	3,31	0	26,50	27,44	38,89	22,43
7	1,89	29,10	30,28	30,28	1,89	26,97	26,50	0	4,73	62,55	46,09
8	2,84	30,05	31,23	31,23	2,84	27,92	27,44	4,73	0	63,50	47,03
9	37,47	41,50	42,68	42,68	60,66	39,37	38,89	62,55	63,50	0	33,50
10	21,01	25,03	26,21	26,21	44,19	22,90	22,43	46,09	47,03	33,50	0

Figura 10 - Matriz SII.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2016.

4.3 Formulação Matemática do PCVCP

A formulação matemática do PCVCP a seguir foi proposta em 1985 por Egon Balas, Balas (2001), tendo as restrições 5 e 6 propostas em Chaves et al. (2003) com o intuito de eliminar possíveis sub-rotas.

Seja um grafo $G' = (N,A)$ completo e direcionado, para cada arco (i,j) de A tem-se um custo c_{ij} associado. Para cada vértice i de N tem-se uma penalidade p_i , caso o vértice i não seja visitado, e um prêmio w_i caso o vértice i esteja na rota. Os vértices variam de 0, associado ao depósito ou origem, até n , sendo $n = |N|$. Para a origem tem-se que $w_0 = 0$, pois se trata do local de partida, e $p_0 = \infty$, por ser o vértice final da rota.

Tem-se também que x trata-se do vetor de incidência associado à rota, sendo que se a aresta i,j estiver na rota ele assume valor 1, e 0 caso contrário. Assumindo que y_i seja 1 se o vértice i estiver na rota e 0 caso contrário, e que f garanta que a diferença entre fluxo que chega ao vértice e que sai do vértice seja igual a 0 se o vértice não for visitado e, analogamente, seja 1 caso contrário, e para que o montante do fluxo entre os vértices i e j não ultrapasse o número de v_n .

Como a prefeitura possui uma série de recorrentes limitações que podem interferir no processo, também foi adicionada uma restrição (9) ao modelo para limitar o número de locais visitados, onde k é um parâmetro passado pela prefeitura.

Então a formulação do PCVCP proposta por Balas (2001) e adaptada por Chaves (2003), além da restrição proposta neste trabalho, é a seguinte:

$$\text{Minimizar } C = \sum_{i \in N} \sum_{j \in N - \{1\}} c_{ij} x_{ij} + \sum_{i \in N} p_i (1 - y_i) \quad (1)$$

Sujeito à:

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

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

$$\sum_{i \in N} w_i * y_i \geq w_{min} \quad (4)$$

$$\sum_{i \in N} \sum_{j \in N} f_{ij} - \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} f_{ji} = y_i \quad \forall i = 1, \dots, n \quad i \neq 1 \quad (5)$$

$$f_{ij} \leq (n - 1)x_{ij} \quad \forall (i, j) \in A \quad (6)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall (i, j) \in A \quad (7)$$

$$y_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall i = 1, \dots, n \quad (8)$$

$$\sum_{i \in 0}^n y_i \leq k \quad (9)$$

A restrição 2 indica que se o vértice i estiver na rota o somatório das arestas que saem dele deverá ser 1, e 0 caso contrário. A restrição 3 diz que se o vértice j estiver na rota o somatório das arestas que chegam nele terá que ser 1, e 0 caso contrário. Já a restrição 4 garante que o prêmio coletado será maior ou igual ao prêmio mínimo. As restrições 5 e 6 propostas por Chaves (2003) visam eliminar sub-rotas, sendo que a 5 garante que se o vértice for visitado, o fluxo que chega e sai de do vértice i seja 1, e 0 caso contrário,

enquanto a restrição δ faz com que o fluxo não ultrapasse o número de arestas que é $n-1$. As demais restrições estão presentes para assegurar a integralidade das variáveis x e y e para que não sejam negativas.

5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Assim que todos os dados foram obtidos pôde-se iniciar a utilização de um *software* para encontrar a solução mais próxima da ótima do problema. O *software* utilizado foi o Lingo, versão 15.0 para estudantes.

Foram feitos alguns testes, tanto para a Instância 1 (SI), quanto para a Instância 2 (SII). Para a Instância 1, considerando n igual 16 e c_{ij} conforme a Figura 09, obteve-se um resultado na Função Objetivo para minimização dos custos de 171,09, enquanto a rota real gerou um custo de 329,32. Este resultado foi gerado em 6,1 segundos, com 25338 iterações realizadas. Neste caso, pode-se dizer que a simplificação proposta no modelo utilizado no Lingo foi eficiente, pois os custos foram minimizados em relação à rota real traçada.

```
Global optimal solution found.
Objective value:                171.0971
Objective bound:                171.0971
Infeasibilities:                0.000000
Extended solver steps:          92
Total solver iterations:        25338
Elapsed runtime seconds:        6.10

Model Class:                    MILP

Total variables:                528
Nonlinear variables:            0
Integer variables:              272

Total constraints:              288
Nonlinear constraints:          0

Total nonzeros:                1713
Nonlinear nonzeros:            0
```

Figura 11 - Resultado Solver Lingo para Instância 1 (SI).

Fonte: Elaborado pelo autor, 2016.

Também foi testado para o caso de haver uma limitação de localidades para realização das atividades. No teste foi limitado em n menor ou igual a 5. Tempo estimado para geração do resultado foi de 0,44 segundos, e o resultado da Função Objetivo foi de 1550,77. Este valor foi elevado devido às penalidades aplicadas aos vértices não visitados.

```
Global optimal solution found.
Objective value:                1550.770
Objective bound:                1550.770
Infeasibilities:                0.000000
Extended solver steps:          2
Total solver iterations:        1153
Elapsed runtime seconds:        0.44

Model Class:                    MILP

Total variables:                 528
Nonlinear variables:             0
Integer variables:              272

Total constraints:               289
Nonlinear constraints:           0

Total nonzeros:                 1729
Nonlinear nonzeros:             0
```

Figura 12 - Resultado Solver Lingo para Instância 1 (SI), $n \leq 5$.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2016.

Para a Instância 2 (SII), considerando n igual a 11 e os dados de c_{ij} conforme a Figura 10, obteve-se um resultado na Função Objetivo para minimização dos custos de 160,11, enquanto a rota real gerou um custo de 229,68. Este resultado foi gerado em 4,25 segundos, com 3428 iterações realizadas. Neste caso, pode-se dizer que a simplificação proposta no modelo utilizado no Lingo também foi eficiente, pois os custos foram minimizados em relação à rota real traçada.

```

Global optimal solution found.
Objective value:                160.1196
Objective bound:                160.1196
Infeasibilities:                0.000000
Extended solver steps:         10
Total solver iterations:        3428
Elapsed runtime seconds:        4.25

Model Class:                    MILP

Total variables:                253
Nonlinear variables:            0
Integer variables:              132

Total constraints:              143
Nonlinear constraints:          0

Total nonzeros:                 793
Nonlinear nonzeros:             0

```

Figura 13 - Resultado Solver Lingo para Instância 2 (SII).

Fonte: Elaborado pelo autor, 2016.

Também foi testado na Instância 2 o caso de haver uma limitação de localidades para realização das atividades. No teste foi limitado em n menor ou igual a 5. Tempo estimado para geração do resultado foi de 0,25 segundos, e o resultado aproximado da Função Objetivo foi de 794,39. Este valor também foi elevado devido às penalidades aplicadas aos vértices não visitados.

```

Global optimal solution found.
Objective value:                794.3974
Objective bound:                794.3974
Infeasibilities:                0.000000
Extended solver steps:          3
Total solver iterations:        428
Elapsed runtime seconds:        0.25

Model Class:                    MILP

Total variables:                253
Nonlinear variables:            0
Integer variables:              132

Total constraints:              144
Nonlinear constraints:          0

Total nonzeros:                 804
Nonlinear nonzeros:             0

```

Figura 14 - Resultado Solver Lingo para Instância 2 (SII), $n \leq 5$.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2016.

Após os testes feitos com todos os vértices sendo visitados, as rotas nas duas Instâncias que minimizaram os custos podem ser vistas na Figura 15.



Figura 15 - Rotas propostas no modelo.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2016.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como objetivo obter rotas mais eficientes nos serviços de terraplanagem em um município de pequeno porte utilizando o Problema do Caixeiro Viajante com Coleta de Prêmios, visando uma diminuição dos custos de transporte inerentes do processo.

Para isso foi feito um estudo da bibliografia existente a cerca do tema para sua correta utilização. O modelo foi proposto por Egon Balas e aprimorado por Chaves et al.(2003). O modelo conseguiu obter rotas que diminuíram os custos inerentes no processo, por isso sua utilização foi tida como acertada.

O modelo foi testado para duas Instâncias, representadas por SI e SII, e em ambas o resultado foi favorável. Também foi testado limitando-se o número de vértices em cada instância, o que elevou consideravelmente o resultado da Função Objetivo devido às penalidades aplicadas pelos vértices não visitados.

O modelo se mostrou, então, interessante, pois conseguiu reduzir os custos do processo. Isso pode ser levado em consideração para realizar o planejamento das escalas dos serviços de terraplanagem no município, aumentando a eficiência e reduzindo os gastos.

Uma sugestão de trabalho futuro seria um estudo que vise aprimorar o modelo utilizado com inclusões de restrições que contemplem determinados fatores externos que possam interferir no processo, como as condições climáticas previstas ou estimativa de defeitos na máquina.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAGÃO, A. S. **O Conceito de Serviços Públicos no Direito Constitucional Brasileiro**. REDAE – Revista Eletrônica de Direito Administrativo Econômico, Salvador, n. 17, p.8-9, fev/março/abril. 2009.

ASTI VERA, A. **Metodologia da pesquisa científica**. 5. ed. Porto Alegre: Globo, 1970.

BACELAR, W. K. A. **Pequena Cidade: Uma Caracterização**. In: V Encontro de Grupos de Pesquisa: Agricultura, Desenvolvimento Regional e Transformações Socioespaciais, Santa Maria, 2009.

BALAS, E. **The Prize Collecting Traveling Salesman Problem and Its Applications**, *Management Science Research Report*, MSRR-664, (2001).

CHAVES, A. A. **Modelagens Exata e Heurística para Resolução do Problema do Caixeiro Viajante com Coleta de Prêmios**. Dissertação de Graduação, Departamento de Computação, Universidade Federal de Ouro Preto, 2003.

CORRÊA, H. L.; GIANESI, I. G. N.; CAON, M. **Planejamento, Programação e Controle da Produção - MRP II / ERP: conceitos, uso e implantação**, 2a edição, São Paulo: Gianesi Corrêa & Associados; Atlas, 2001.

FERREIRA, F. M.; BACHEGA, S. J. **Programação Linear: Um estudo de caso sobre os custos de transporte em uma empresa do setor de confecções de Catalão-GO**. In: XXXI Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Belo Horizonte, 2011.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. São Paulo: Atlas, 1999.

Contas Regionais do Brasil 2012. IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.

Disponível em: <[http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/imprensa/ppts/](http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/imprensa/ppts/00000019515011102014502214193696.pdf)

00000019515011102014502214193696.pdf> Acesso em: 03 jan. 2016.

KON, A. **Sobre as atividades de serviço: revendo conceitos e tipologias**. Revista de Economia Política, São Paulo: vol. 19, nº 2 (74), p. 64-83, abril-junho, 1999.

MARTINS, R. A. **Abordagem Quantitativa e Qualitativa**. IN: MIGUEL, P. A. C. (coord.). Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Processos. Rio de Janeiro: Elsevier Editora Ltda, 2010.

PALADINI, E. P. **Gestão da qualidade no processo: a qualidade na produção de bens e serviços**. São Paulo: Atlas, 1995.

SLACK, Nigel et al. **Administração da produção**. São Paulo: Atlas, 1997.

STÜTZLE, T. & DORIGO, M. I. **ACO Algorithms for the Traveling Salesman Problem**, Université Libre de Bruxelles, Belgium, 1999.