

Roteirização da Entrega de Materiais por um Órgão da Administração Pública do Estado do Paraná

Samuel de Lima Junior (Universidade Federal do Paraná) samuel.l.junior@gmail.com
Cleibson Aparecido de Almeida (Universidade Federal do Paraná) nosbielcs@bol.com.br
Giovani Roveroto (Universidade Federal do Paraná) giovani.roveroto@gmail.com
João Cardoso Neto (Universidade Federal do Paraná) joacardosoneto@gmail.com

Resumo:

A melhoria da gestão do dinheiro público tem sido uma importante vertente na Administração Pública direta e indireta. Prestar um maior número de serviços, em um menor tempo e de forma mais barata à sociedade é uma forma de economizar e melhorar a administração pública. Esta administração da coisa pública pode se dar de várias maneiras, dentre elas, na redução da quilometragem percorrida para a entrega de materiais de expediente. Com base no exposto, este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de estabelecer a rota ótima para estas entregas, desta forma, reduzem-se os gastos com o oferecimento do serviço, podendo-se aumentar o emprego do dinheiro público em outras áreas de maior interesse à sociedade. A fim de se determinar quais seriam estas rotas ótimas foi utilizado o método exato, através da resolução do modelo matemático do Problema do Caixeiro Viajante. Em seguida, de acordo com a quilometragem total a ser percorrida em cada um dos trajetos, foi feito um comparativo entre tal quilometragem e seu custo máximo, bem como foi proposto oito novos agrupamentos de entrega destes materiais.

Palavras chave: Problema do Caixeiro Viajante, Administração Pública, Roteirização.

Routing for Materials Supply in a Public Administration Sector from Paraná State

Abstract

The improvement of the management of the public money has been an important strand in the direct and indirect public administration. Provide a greater number of services, in a shorter time and cheapest way to society is a way to save and improve the public administration. This administration of public affairs can give in many ways, among them, in reducing the mileage rates for the delivery of materials office hours. Based on the above, this work was developed with the goal of establishing the optimal route for these deliveries, thus, reduce the cost of providing the service, and increase the use of public money in other areas of most interest to society. In order to determine what would these great routes was used the exact method, through the resolution of the mathematical model of the Travelling Salesman Problem. Then, according to the total mileage travelled in each of the paths, was made a comparison between such mileage and your maximum cost as well as was proposed eight new groupings of delivery of these materials.

Key-words: Travelling Salesman Problem, Public Administration, Routing.

1. Introdução

O Departamento responsável pela entrega de materiais de expediente num determinado órgão público do Estado do Paraná possui, atualmente, apenas uma (1) Central de Distribuição onde

ficam estocados todos os materiais de expediente que são utilizados por sua sede administrativa principal e pelas cento e cinquenta e sete (157) subseções administrativas.

Desta forma, quatro (4) vezes por ano, se faz necessário que servidores lotados no referido Departamento realizem as entregas deste material de expediente tanto na Capital e Região Metropolitana, bem como em todas as subseções administrativas deste órgão estadual. A entrega destes materiais é feita dividindo-se as subseções administrativas em vinte e um (21) grupos, conforme exposto no QUADRO 1.

Nº	Subseções Administrativas
1	Andirá, Assaí, Bandeirantes, Cambará, Carlópolis, Congonhinhas, Cornélio Procópio, Jacarezinho, Joaquim Távora, Nova Fátima, Ribeirão Claro, Ribeirão do Pinhal, Santa Mariana, Santo Antônio da Platina, São Jerônimo da Serra, Uraí
2	Grandes Rios, Bela Vista do Paraíso, Cambé, Faxinal, Ibiporã, Londrina, Marilândia do Sul, Ortigueira, Primeiro de Maio, Sertãozinho
3	Apucarana, Araongas, Astorga, Centenário do Sul, Colorado, Jaguapitã, Jandaia do Sul, Mandaguari, Marialva, Maringá, Porecatu, Rolândia, Sarandi
4	Alto Paraná, Cianorte, Cidade Gaúcha, Engenheiro Beltrão, Loanda, Mandaguçu, Nova Esperança, Nova Londrina, Paraíso do Norte, Paranacity, Paranaíba, Santa Izabel do Ivaí, Terra Boa, Terra Rica
5	Alto Piquiri, Barbosa Ferraz, Campina da Lagoa, Campo Mourão, Cruzeiro do Oeste, Formosa do Oeste, Goioerê, Iretama, Ivaiporã, Mamborê, Manoel Ribas, Peabiru, São João do Ivaí, Ubitatã
6	Altônia, Assis Chateaubriand, Cascavel, Corbélia, Guaíra, Guaraniaçu, Icaraíma, Iporã, Palotina, Pérola, Terra Roxa, Umuarama, Xambê
7	Cantagalo, Catanduvas, Foz do Iguaçu, Laranjeiras do Sul, M. Candido Rondon, Matelândia, Medianeira, Quedas do Iguaçu, Santa Helena, São Miguel do Iguaçu, Toledo
8	Barracão, Capanema, Capitão Leônidas Marques, Chopinzinho, Clevelândia, Coronel Vivida, Dois Vizinhos, Francisco Beltrão, Mangueirinha, Palmas, Pato Branco, Realeza, Salto do Lontra, Santo Antônio do Sudoeste
9	Ibaiti, Piraí do Sul, Siqueira Campos, Tomazina
10	Arapoti, Jaguariaíva, Sengés, Wenceslau Braz
11	Castro, Curiúva, Telêmaco Borba, Tibagi
12	Imbituva, Ipiranga, Pinhão, Prudentópolis
13	Campo Largo, Guarapuava, Ponta Grossa
14	Cândido de Abreu, Palmital, Pitanga, Reserva
15	Araucária, Fazenda Rio Grande, Lapa, Rio Negro
16	Almirante Tamandaré, Bocaiúva do Sul, Colombo
17	Campina Grande do Sul, Pinhais, Piraquara
18	Antonina, Caiobá, Guaratuba, Ipanema, Matinhos, Morretes, Paranaguá, São José dos Pinhais
19	Cerro Azul, Rio Branco do Sul
20	Irati, Mallet, Rebouças, Teixeira Soares
21	Palmeira, São João do Triunfo, São Mateus do Sul, União da Vitória

Fonte: <http://portal.tjpr.jus.br/web/dp>.

QUADRO 1 – Grupos de subseções administrativas para entregas de materiais atuais.

É sabido que o sistema rodoviário estadual apresenta diversas alternativas de rotas, as quais apresentam diferentes quilometragens totais para se percorrer as mesmas cidades. Neste sentido se faz imperativo que o Departamento deste órgão estadual, ao realizar o deslocamento para estas subseções administrativas, escolha o caminho que minimize a distância total a ser percorrida, pois, desta forma, os custos com combustível serão minimizados, assim como o desgaste dos veículos utilizados e o conseqüente gasto com a manutenção dos citados veículos. Além disso, minimizando a distância a ser percorrida, diminui-se o tempo para realizar a atividade de entrega de materiais e, conseqüentemente, o custo com diárias dos servidores designados para tais atividades. Finalmente, cabe destacar, que ao diminuir o tempo para a entrega de materiais, os servidores que antes realizavam tal tarefa em um maior período de tempo, poderão ser alocados em outras atividades, otimizando as atividades desempenhadas.

Desta forma, este estudo tem como objetivo otimizar as rotas de entregas de materiais nos grupos das subsedes administrativas adotados pelo Departamento do órgão estadual, bem como propor outras formas de atendimento às subsedes administrativas quanto a necessidade de materiais.

2. Revisão de Literatura

2.1 Programação Inteira

Segundo Puccini e Pizzolato (1990), a programação inteira, também denominada de programação linear inteira, programação discreta ou programação inteira pura, é a denominação dada a problemas de programação linear em que as variáveis só podem assumir valores inteiros. Casos particulares de programação inteira, são aqueles em que as variáveis só podem assumir valores 0 ou 1. Neste caso, o modelo é denominado de programação zero-um ou programação binária.

A criação da programação inteira foi uma consequência da incapacidade da programação linear de oferecer soluções viáveis para alguns problemas importantes. As primeiras propostas de metodologias que tratavam do problema com variáveis inteiras eram mais adaptações do método simplex do que novas teorias. O principal arquiteto dos primórdios da programação inteira foi Ralph E. Gomory (COLIN, 2007).

2.2 Problema do Caixeiro Viajante

Conforme Melamed (1990), o problema do caixeiro viajante é um dos mais tradicionais e conhecidos problemas de programação matemática.

Colin (2007) afirma que o problema do Caixeiro-Viajante é considerado um clássico: ele é provavelmente o problema mais conhecido e estudado de Programação Inteira. Como é de se esperar, um problema tão estudado possui uma infinidade de casos particulares que podem ser utilizados para tratar das mais diversas variedades encontradas nos ambientes profissionais.

2.2.1 Métodos de Resolução do Problema do Caixeiro Viajante

Conforme Steiner (2011), o problema do Caixeiro Viajante pode ser resolvido de várias formas, dentre estas se destacam os métodos exatos (modelo matemático e o método que utiliza a variante do *Branch and Bound*) e os métodos heurísticos, os quais fornecem soluções aproximadas.

2.2.1.1 Formulação Matemática do Problema do Caixeiro Viajante

Existem várias formulações para esse problema. Essas formulações podem ser consideradas como canônicas, tanto por sua larga difusão na literatura especializada como por desenvolverem modos peculiares de caracterização do problema (GOLDBARG e LUNA, 2005).

2.2.1.1.1 Formulação de Dantzig – Fulkerson – Johnson

Segundo Christofides *et al.* (1979), Dantzig, Fulkerson e Johnson em 1954, formularam o Problema do Caixeiro Viajante como sendo um problema de programação 0-1 sobre um grafo $G = (N, A)$, como segue:

$$\begin{aligned} \min \quad & \sum_{i \in \text{subsedes}} \sum_{j \in \text{subsedes}} \text{dist}_{ij} \times x_{ij} \\ \text{sujeito a:} \quad & \left\{ \begin{array}{l} \sum_{i \in \text{subsedes}} x_{ij} = 1 \quad \forall j \in \text{subsedes} \\ \sum_{j \in \text{subsedes}} x_{ij} = 1 \quad \forall i \in \text{subsedes} \\ \sum_{i \in \text{subsedes}} f_{ij} - \sum_{i \in \text{subsedes}} f_{ji} = 1 \quad \forall j \in \text{subsedes} | j \neq 1 \\ f_{ij} \leq (|\text{subsedes}| - 1)x_{ij} \quad \forall i \in \text{subsedes}, \forall j \in \text{subsedes} \\ x_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall i \in \text{subsedes}, \forall j \in \text{subsedes} \end{array} \right. \end{aligned}$$

Onde x_{ij} é uma variável binária em que 1 significa que o percurso passa pela aresta formada entre i e j , e 0 significa que o percurso não passa pela referida aresta. Já dist_{ij} representa o custo associado à aresta x_{ij} , no nosso caso, por custo entende-se a distância a ser percorrida na aludida aresta.

2.2.2 Ciclo Hamiltoniano

Conforme Goldbarg e Luna (2005), os problemas de roteamento lidam em sua maior parte com passeios ou tours sobre pontos de demanda ou oferta. Esses pontos podem ser representados por cidades, postos de trabalho ou atendimento, depósitos, etc. Dentre os tipos de passeios um dos mais importantes é denominado hamiltoniano. Seu nome é devido a Willian Rowan Hamilton que, em 1857, propôs um jogo que denominou Around The World. O jogo era feito sobre um dodecaedro em que cada vértice estava associado a uma cidade importante na época. O desafio consistia em encontrar uma rota através dos vértices do dodecaedro que iniciasse e terminasse em uma mesma cidade sem nunca repetir uma visita.

Uma solução do jogo de Hamilton, em sua homenagem, passou a se denominar um ciclo hamiltoniano. Modernamente, a primeira menção conhecida do problema é devida a Hassler Whitney em 1934 em um trabalho na *Princeton University* (GOLDBARG e LUNA, 2005).

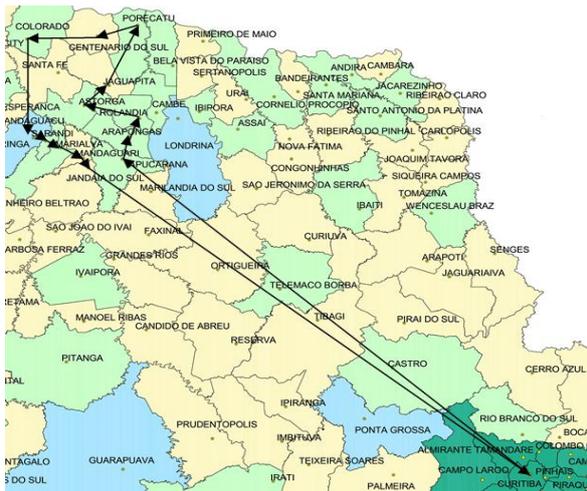
2.3 Análise de Agrupamentos

Análise de agrupamentos é o nome dado para um grupo de técnicas multivariadas cuja finalidade primária é agregar objetos com base nas características que eles possuem. Ela classifica objetos de modo que cada um é muito semelhante aos outros no agrupamento em relação a algum critério de seleção predeterminado. Os agrupamentos resultantes de objetos devem então exibir elevada homogeneidade interna (dentro dos agrupamentos). Assim, se a classificação for bem sucedida, os objetos dentro dos agrupamentos estarão próximos quando representados graficamente e diferentes agrupamentos estarão distantes (Hair *et al*, 2007).

3. Metodologia Utilizada

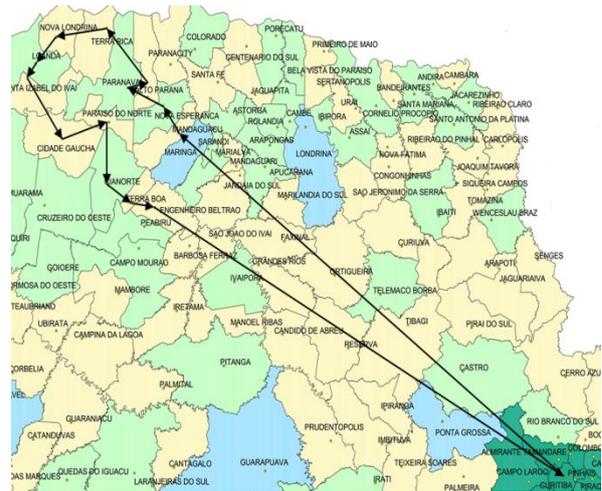
Este trabalho pode ser classificado, de acordo com a sua finalidade, como uma pesquisa aplicada, as quais se caracterizam pela consternação da resolução de problemas concretos, práticos e operacionais. Já em relação ao método e a forma de resolução do problema apresentado, este trabalho se caracteriza e pode ser classificado como uma pesquisa quantitativa.

Objetivando a determinação da rota ótima a ser percorrida na entrega dos materiais pelo Departamento do órgão estadual, ans cento e cinquenta e sete subsedes administrativas na visitação dos pontos turísticos que integram as rotas citadas na seção 1, primeiramente, foram



Fonte: O Autor.

Figura 3: Rota Otimizada do Grupo 3.



Fonte: O Autor.

Figura 4: Rota Otimizada do Grupo 4.



Fonte: O Autor.

Figura 5: Rota Otimizada do Grupo 5.



Fonte: O Autor.

Figura 6: Rota Otimizada do Grupo 6.



Fonte: O Autor.

Figura 7: Rota Otimizada do Grupo 7.



Fonte: O Autor.

Figura 8: Rota Otimizada do Grupo 8.



Fonte: O Autor.

Figura 9: Rota Otimizada do Grupo 9.



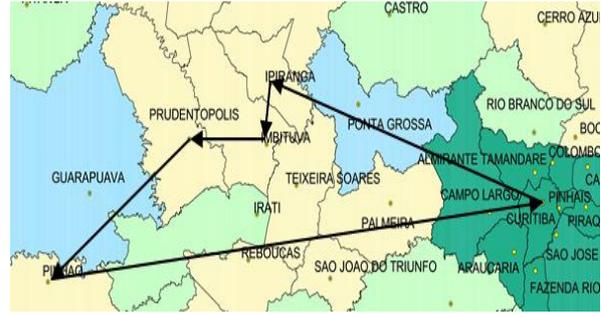
Fonte: O Autor.

Figura 10: Rota Otimizada do Grupo 10.



Fonte: O Autor.

Figura 11: Rota Otimizada do Grupo 11.



Fonte: O Autor.

Figura 12: Rota Otimizada do Grupo 12.



Fonte: O Autor.

Figura 13: Rota Otimizada do Grupo 13.



Fonte: O Autor.

Figura 14: Rota Otimizada do Grupo 14.



Fonte: O Autor.

Figura 15: Rota Otimizada do Grupo 15.



Fonte: O Autor.

Figura 16: Rota Otimizada do Grupo 16.



Fonte: O Autor.

Figura 17: Rota Otimizada do Grupo 17.



Fonte: O Autor.

Figura 18: Rota Otimizada do Grupo 18.



Fonte: O Autor.

Figura 19: Rota Otimizada do Grupo 19.



Fonte: O Autor.

Figura 20: Rota Otimizada do Grupo 20.



Fonte: O Autor.

Figura 21: Rota Otimizada do Grupo 21.

A fim de exemplificar a melhoria da distância a ser percorrida, na Tabela 1, está exposta a distância a ser percorrida em cada um dos vinte e um (21) grupos de Subsedes administrativas, conforme Figuras acima, e a distância a ser percorrida em outras possibilidades de rotas dentro destes mesmos vinte e um (21) grupos.

Nº do Grupo	Rota Não Otimizada (em Km)	Rota Otimizada (em Km)	Melhoria
1	2.605,7	1.083,8	140,42%
2	2.025,4	1.030,4	96,56%
3	2.020,5	1.112,5	81,62%
4	3.548,5	1.438	146,77%
5	3.139,3	1.416,9	121,56%
6	3.227,0	1.574,3	104,98%
7	3.138,1	1.440,6	117,83%
8	3.370,0	1.399,8	140,75%
9	877,2	639,5	37,17%
10	627,7	540,2	16,20%
11	792,5	586,5	35,12%
12	931,1	703,7	32,31%
13	686,0	539,5	27,15%
14	1.167	838,0	39,26%
15	382,5	247,1	54,80%
16	104,4	85,1	22,68%
17	96,9	73,9	31,12%
18	612,8	321,7	90,49%
19	164,7	164,7	0,00%
20	510,8	454,7	12,34%
21	638,4	488,5	30,69%
Total	30.666,5	16.179,4	89,54%

Fonte: O autor.

Tabela 1 – Comparativo de Rotas para os Grupos de Subsedes.

4.2 Resolução pela Análise de Agrupamentos

Para esta resolução, as subsedes administrativas, através das suas coordenadas de latitude e longitude, foram agrupadas em oito (8) grupos, através da utilização da técnica multivariada de análise de agrupamentos, exposta na Seção 2.3.

Nº	Subsedes Administrativas
1	Almirante Tamandaré, Araucária, Campina Grande do Sul, Campo Largo, Colombo, Fazenda Rio Grande, Pinhais, Piraquara, São José dos Pinhais
2	Alto Paraná, Alto Piquiri, Colorado, Icaraíma, Loanda, Mamborê, Manoel Ribas, Nova Esperança, Nova Londrina, Palotina, Paraíso do Norte, Paranacity, Paranaíba, Pérola, Santa Helena, Santa Izabel do Ivaí, Terra Rica, Toledo, Umuarama, Xambrê
3	Altônia, Assis Chateaubriand, Barbosa Ferraz, Campina da Lagoa, Campo Mourão, Cascavel, Cianorte, Cidade Gaúcha, Corbélia, Cruzeiro do Oeste, Engenheiro Beltrão, Faxinal, Formosa do Oeste, Foz do

- Iguaçu , Goioerê, Grandes Rios, Guaíra, Guarapuava, Iporã, Iretama, Ivaiporã, Mallet, Peabiru, São João do Ivaí, Terra Boa, Terra Roxa, Ubiratã
- 4 Andirá, Arapoti, Cambará, Cantagalo, Centenário do Sul, Jaguapitã, Joaquim Távora, Mandaguçu, Marialva, Porecatu, Ribeirão do Pinhal, SANTA FÉ, Santo Antônio da Platina, Sarandi , Siqueira Campos, Wenceslau Braz
- 5 Antonina, Bocaiúva do Sul, Cerro Azul, Guaratuba, Lapa, M. Candido Rondon, Matinhos, Morretes, Paranaguá, Rio Branco do Sul, Rio Negro, São João do Triunfo, São Mateus do Sul, União da Vitória
- 6 Apucarana, Arapongas, Assaí, Astorga, Bandeirantes, Bela Vista do Paraíso, Cambé, Carlópolis, Congonhinhas, Cornélio Procópio, Curiúva, Ibaiti, Iporã, Jacarezinho, Jandaia do Sul, Londrina, Marilândia do Sul, Maringá, Nova Fátima, Primeiro de Maio, Ribeirão Claro, Rolândia, Santa Mariana, São Jerônimo da Serra , Sertanópolis , Tomazina, Uraí
- 7 Barracão, Capanema, Capitão Leônidas Marques, Catanduvas, Chopinzinho, Clevelândia, Coronel Vivida, Dois Vizinhos, Francisco Beltrão, Guaraniçu, Laranjeiras do Sul, Mandaguari, Matelândia, Medianeira, Palmas, Pato Branco, Quedas do Iguaçu, Realeza, Salto do Lontra, Santo Antônio do Sudoeste, São Miguel do Iguaçu
- 8 Cândido de Abreu, Castro, Imbituva, Ipiranga, Irati, Jaguariaíva, Mangueirinha, Ortigueira, Palmeira, Palmital, Pinhão, Pirai do Sul, Pitanga, Ponta Grossa, Prudentópolis, Rebouças, Reserva, Sengés, Teixeira Soares, Telêmaco Borba, Tibagi

A seguir a roteirização destes grupos foi feita através da formulação matemática para resolução do Problema do Caixeiro Viajante exposta na Seção 2.2.1.1.1 deste estudo. Diante desta resolução, os resultados obtidos foram os seguintes:



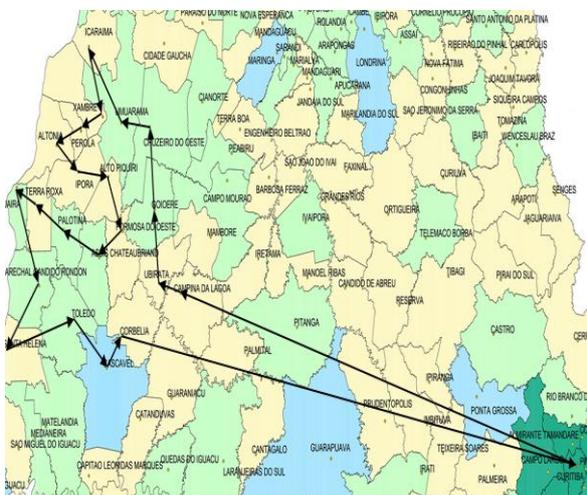
Fonte: O autor.

Figura 22: Rota Otimizada do Novo Grupo 1.

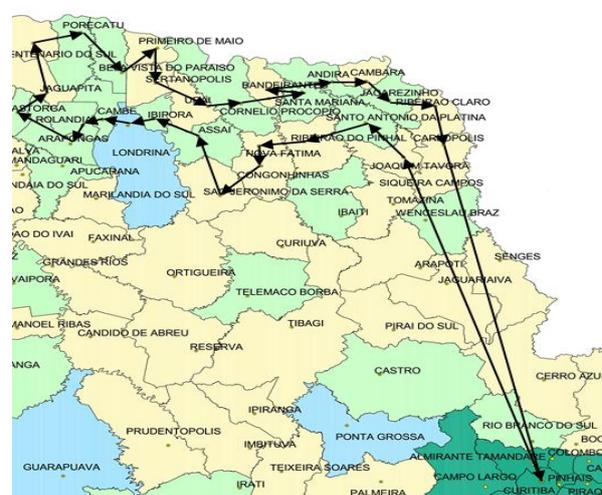


Fonte: O autor.

Figura 23: Rota Otimizada do Novo Grupo 2.



Fonte: O autor.



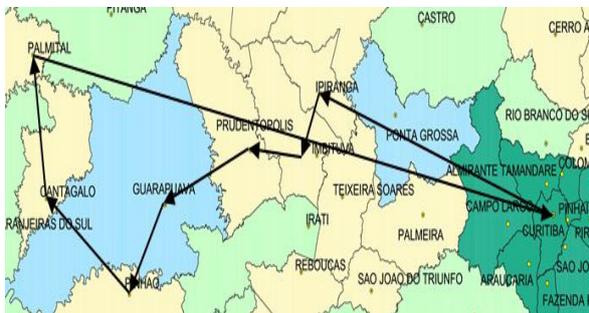
Fonte: O autor.

Figura 24: Rota Otimizada do Novo Grupo 3.



Fonte: O autor.

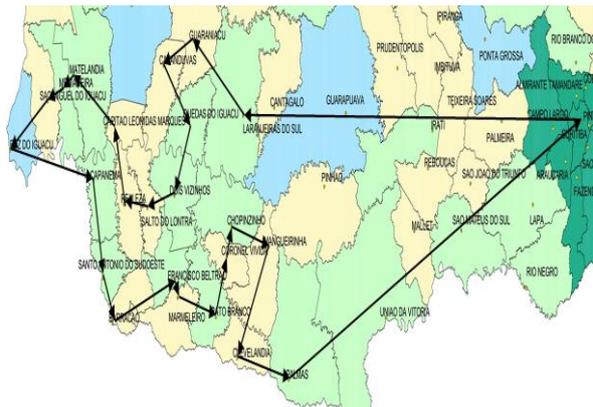
Figura 26: Rota Otimizada do Novo Grupo 5.



Fonte: O autor.

Figura 28: Rota Otimizada do Novo Grupo 7.

Figura 25: Rota Otimizada do Novo Grupo 4.



Fonte: O autor.

Figura 27: Rota Otimizada do Novo Grupo 6.



Fonte: O autor.

Figura 29: Rota Otimizada do Novo Grupo 8.

Nº Grupo	Rota Otimizada (em Km)
1	603,9
2	1.954,1
3	1.903,6
4	1.424,0
5	968,4
6	1.804,2
7	953,0
8	714,0
Total	10.325,2

Fonte: O autor.

Tabela 2 – Distâncias Otimizadas para o Agrupamento de Subsedes administrativas proposto.

Cabe destacar que os novos agrupamentos aqui propostos, desconsideram na sua elaboração possíveis restrições quanto à capacidade de carga dos veículos utilizados para o transporte de materiais às subsedes administrativas. Porém, existe a possibilidade de que a resolução deste tipo de problema considere, além da distância, a capacidade de carga.

5. Resultados Obtidos

5.1 Resolução com os Grupos da Tabela 1

Através do exposto na Seção 4 observamos a necessidade de otimização do percurso, elaborando a roteirização que minimize a distância total a ser percorrida no serviço de entrega de materiais a todas as Subsedes administrativas do Estado do Paraná.

Percebe-se que o atual modelo, dependendo do trajeto que os motoristas dos veículos adotam, pode representar uma distância total de 30.666,5 km para a realização de uma (1) entrega de material a todas as Subsedes administrativas do Estado. Caso seja adotada, pelo Departamento do órgão estadual, as rotas otimizadas expostas na Seção 4.1, esta entrega de material virá a representar uma distância total percorrida de 16.179,4 km, ou seja, a distância total será reduzida de **89,54%**.

Já em caso de adoção de novos agrupamentos e, conseqüentemente, novas rotas otimizadas, ambos expostos na Seção 4.2, temos que, para a realização de uma (1) entrega de material a todas as Subsedes administrativas do Estado, a distância total a ser percorrida é de 10.325,2 km. Isto representa uma redução aproximada de **197%** em relação à distância de 30.666,5 km, ou ainda, de **56,69%** em relação a roteirização proposta na Seção 3.1.

6. Considerações Finais

Para que esta proposta seja colocada em prática pelo órgão estadual paranaense não existe custo associado, pelo contrário, além desta prática apresentar isenção de investimentos, ainda possibilitará à administração pública a redução de custos com combustível, manutenção de veículos, diárias e período de tempo em que servidores são alocados especificamente à atividade de entrega de materiais.

Esta proposta pode ser colocada em prática tão logo seja aceita pela administração pública.

O exposto neste trabalho pode ser expandido para outros departamentos ou unidades administrativas do órgão estadual que realizam deslocamentos pelo Estado do Paraná. Por exemplo, o Departamento de Informática ao realizar a troca dos equipamentos, poderá elaborar seu roteiro de substituições baseado nas ferramentas apresentadas por este trabalho.

Enfim, qualquer departamento ou unidade administrativa que necessite realizar deslocamentos pelas Subsedes administrativas do Estado do Paraná, poderá utilizar o exposto neste trabalho e, com isso, otimizar o serviço a ser desempenhado. Destaca-se que a metodologia aqui apresentada pode ser utilizada para qualquer quantidade de Subsedes administrativas a serem visitadas e rotas a serem utilizadas.

Referências

CHRISTOFIDES, N.; MINGOZZI, A.; TOHT, P. *The Vehicle Routing Problem*. In: _____. *Combinatorial Optimization*. New Jersey: Editora John Wiley and Sons, 1979. P. 315-338.

COLIN, E. C. *Pesquisa Operacional*. Rio de Janeiro: Editora LTC, 2007.

COUTINHO, E. F. *Algoritmos de Escalas e Roteamento de Veículos para Aplicação em Serviços Sistemáticos de Regiões Urbanas*. Dissertação de Mestrado do Programa de Pós Graduação em Computação da Universidade Federal de Educação Tecnológica do Ceará. Fortaleza: 2003.

GOLDBARG, C. M.; LUNA; H. P. C. *Otimização Combinatória e Programação Linear*. Rio de Janeiro: Editora Campus, 2005.

PUCINI, A. de L.; PIZZOLATO, N. D. *Programação Linear*. Rio de Janeiro: Editora LTC, 1990.

STEINER, M. T. A. *Otimização em Redes*. 30 mai – 02 set 2011. 88 f. Notas de Aula. Apresentação no Microsoft Powerpoint®.