
UMA HEURÍSTICA PARA SOLUÇÃO DO PROBLEMA DA COLETA DE RESÍDUOS SÓLIDOS DOMICILIARES

Janine Pereira Jacinto

Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil – Transporte
Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, ES – Brasil.

E-mail: janinejacinto@gmail.com

Rodrigo de Alvarenga Rosa

IFES – Instituto Federal de Ciência, Educação e Tecnologia do Espírito Santo
Campus Cariacica, ES – Brasil.
E-mail: rodrigorosa@cefetes.br; rodrigorosa@ifes.br

RESUMO

O rápido crescimento da população mundial concentrada, principalmente, nos grandes centros urbanos, gera um aumento da concentração populacional e mudanças no modo de vida acarretando a geração crescente de resíduos sólidos domiciliares, que está diretamente ligada ao crescimento populacional. Por isso é necessário que exista uma política adequada nas cidades para planejar a coleta e o manejo dos resíduos. Todos os dias toneladas de resíduos sólidos são geradas nos domicílios e cabe a administração pública de cada cidade ter mecanismos para que o lixo seja coletado, transportado e destinado, pois a coleta e o manejo inadequados provocam problemas tanto ambientais, quanto sociais e de saúde. O presente trabalho tem como objetivos gerais propor uma nova metaheurística baseada no Problema de Roteirização em Arcos Capacitados e no Problema do Carteiro Chinês que analise a logística para o melhor aproveitamento da frota de veículos que realizam a coleta de resíduos sólidos domiciliares e a aplicação a um problema real para validá-lo. A aplicação prática em estudo será a resolução do problema de coleta de resíduos nos domicílios do município de Cariacica.

Palavras Chaves: Roteirização de Veículos em Arcos, Logística, Coleta de Resíduos Sólidos.

ABSTRACT

The fast growing of the world population, mainly in urban centers, increases the concentration of population, changes the way of life and increases the production of domestic solid waste. So is necessary to establish an adequate policy in the cities for the collection and management of waste. Every day tons of solid wastes are produced by the houses and the government of each city needs to have mechanisms to ensure that the waste will be collected, transported and disposed. The inappropriate collection and management cause environmental, social and health problems in order. This paper has two goods: develop a new general methodology, based on arc routing problems, to solve the problem of domestic solid waste collection and to be applied to a real problem in order to keep environment safely to validate it. The practical application will be the solution of the problem of collecting domestic waste in Cariacica city.

Keywords: Arc Routing, Logistics, Solid Waste Collection.

1. INTRODUÇÃO

Muitas são as questões advindas do rápido crescimento da população mundial concentrada, principalmente, nos grandes centros urbanos. O aumento da concentração populacional interfere diretamente nas mudanças do modo de vida e esses fatores devem ser considerados quando se fala de questões sociais, ambientais e de hábitos saudáveis.

Um dos grandes problemas enfrentados nas cidades é a geração crescente de resíduos sólidos domiciliares, que está diretamente ligada ao crescimento populacional. Surge daí a necessidade de que existam políticas públicas adequadas voltadas para a coleta, o transporte e o manejo dos resíduos.

O problema da coleta de resíduos sólidos domiciliares usualmente é resolvido pelas administrações públicas sem um método científico, recaindo na experiência profissional dos seus servidores.

Vale a pena pensar que o recolhimento dos resíduos sólidos domiciliares precisa não somente de que sejam criados roteiros que atendam a uma região como um todo, mas que este seja feito da melhor maneira possível, pois invariavelmente os orçamentos públicos são restritos. O uso de heurísticas que levem a roteiros mais econômicos e mais eficientes é o que se busca.

Pelo levantamento bibliográfico realizado, o problema é tratado nos artigos encontrados como um problema de roteirização em arcos, mais especificamente em Arcos Capacitados (*Capacitated Arc Routing Problem - CARP*) e pelo problema do Carteiro Chinês Capacitado (*Capacitated Chinese Postman Problem - CCP*), ambos não considerando a possibilidade de reaproveitamento de veículos.

Este trabalho propõe uma nova heurística que analise a logística para o melhor aproveitamento da frota de veículos que realizam a coleta de resíduos sólidos domiciliares.

2. OBJETIVO

Desenvolver uma metodologia baseada no problema de roteirização em arcos propondo uma nova heurística para solução do problema da coleta de resíduos sólidos domiciliares, a fim de atender a uma determinada região geográfica, bairro, município ou cidade.

3. ROTEIRIZAÇÃO EM ARCOS

A roteirização de veículos é definida como sendo um processo para encontrar o menor caminho para ir de um ponto origem a outro ponto de destino com o intuito de atender a um grupo de clientes, utilizando um determinado número de veículos, aumentando assim a eficiência através da máxima utilização dos recursos de transporte, tanto de material quanto de pessoal.

A partir desta idéia é possível criar uma metodologia que possa melhorar o serviço de coleta de resíduos sólidos domiciliares através de estudos prévios, baseadas nas características das cidades.

Os problemas de roteirização em arcos são aplicáveis a este tipo de abordagem e consistem em determinar conjuntos de rotas de menor custo, onde os arcos (no caso da coleta de lixo, as ruas) que contenham demanda de serviço sejam percorridos pelo menos uma vez, tendo como origem e destino um único ponto, o depósito ou a garagem.

Vários trabalhos têm sido desenvolvidos no intuito de modelar matematicamente os Problemas de Roteirização em Arcos. Edmonds e Johnson (1973) publicaram um trabalho, que até os dias de hoje é considerado como referência, onde foram estabelecidos os principais algoritmos de solução para o Problema do Carteiro Chinês.

Beltrami e Bodin (1974) publicaram um trabalho muito interessante em que relacionavam os aspectos conceituais do Problema de Roteirização em Arcos com aplicações de ordem prática, no serviço de coleta de resíduos na área urbana de Nova York.

Ainda na mesma década, Bodin e Kursh (1978, 1979) publicaram dois trabalhos relevantes que descrevem as primeiras experiências de desenvolvimento e implantação de um sistema para planejamento das rotas dos equipamentos usados para a varrição de ruas em Nova York.

Muitos autores abordam o Problema de Roteirização em Arcos, porém a maioria se preocupa com a construção de algoritmos e não com metodologias que possam apoiar a aplicação e a resolução do problema.

O Problema do Carteiro Chinês Capacitado (*Capacitated Chinese Postman Problem - CCP*) foi proposto originalmente por Golden e Wong em 1981 como um caso especial do Problema de Roteirização em Arcos Capacitados (*Capacitated Arc Routing Problem – CARP*).

Maniezzo (2004) propôs uma formulação matemática para o Problema de Roteirização em Arcos Capacitados Direcionados (*Directed Capacitated Arc Routing Problem – DCARP*).

4. METODOLOGIA

A heurística proposta é dividida em três etapas: 1) a geração das rotas; 2) análise dos caminhões que cumpriram a carga horária de trabalho disponível e, portanto, não podem mais ser utilizados; 3) análise dos caminhões que atingiram sua capacidade máxima, mas ainda possuem tempo disponível para continuar em outros roteiros.

A etapa 1 é a geração das rotas pode ser feita por qualquer software existente no mercado que resolva os problemas de roteirização em arcos. A partir das rotas resultantes, serão verificados se os veículos foram melhores utilizados por tempo de trabalho ou pela quantidade de carga coletada.

Na etapa 2, no caso da rota terminar porque chegou ao limite de tempo do turno da equipe, que geralmente é de 6 horas diárias, isto implica dizer que o caminhão utilizou todo o recurso mão de obra, não havendo como reaproveitá-lo em outra rota. Então, deverá ser gerado o relatório de viagens diárias. Pode-se, em trabalhos futuros, analisar a possibilidade de incluir outros turnos.

Na etapa 3, no caso da rota terminar porque o caminhão atingiu o limite máximo de carga, isto significa que ainda pode haver horário disponível para a equipe que conduz o veículo. Desta forma, existe a possibilidade de reaproveitamento do veículo. Então, deverá ser computada a carga horária já trabalhada, a quantidade de horas que ainda restam para terminar o turno da equipe e o tempo gasto para carga e descarga (incluindo ida e volta ao depósito), e uma nova rota deverá ser gerada com este tempo restante.

As etapas 2 e 3 se repetem até que os resíduos sólidos domiciliares sejam coletados em todas as ruas que possuam resíduos para ser coletado. Esta metodologia pode ser aplicada a todo tipo de problema de roteirização em arco onde se deseja aproveitar ao máximo o turno de trabalho e a capacidade do veículo.

Para a aplicação da heurística, os parâmetros iniciais são: velocidade na via onde há coleta de resíduos; o tempo gasto no atendimento de cada rua; o tempo para atravessar uma rua ao realizar a coleta; identificação da via a ser atendida e o bairro ao qual pertence; turno de trabalho de cada equipe responsável por um caminhão; quantidade de resíduo a ser coletado em cada via; identificação da garagem ou do depósito onde o caminhão descarregará.

Estas análises podem resultar em ganhos não só no que diz respeito ao planejamento do transporte dos resíduos sólidos domiciliares coletados, mas também em relação ao impacto ambiental e social, por exemplo, minimizar a geração/propagação de doenças devido a falta de recolhimento dos resíduos, evitar a contaminação do ambiente natural, não só pelo depósito irregular de lixo, mas também pela falta de educação ambiental e cidadã de pessoas que lançam resíduos nos logradouros públicos, entre outros.

Atualmente a construção destes roteiros é feita de forma empírica, de acordo com a demanda que surge em função do crescimento da população ou das necessidades impostas pelas características da região. Na maioria dos casos, os roteiros propostos atualmente são alternados, ou seja, um determinado bairro ou distrito é atendido em um dia e só voltará a ser atendido em 48 horas (dois dias).

O roteiro diário pode evitar que o lixo fique acumulado, gerando mau cheiro e evitando maiores problemas ambientais. Quanto à questão social, uma frota de caminhões menor incidirá em menores custos no transporte, além de evitar a retenção do tráfego numa cidade com problemas de trânsito e ajuda a minimizar a poluição ambiental.

Além disso, o reaproveitamento dos caminhões pode gerar redução dos custos relacionados a coleta de resíduos sólidos domiciliares.

4.1. Aplicação prática

O trabalho foi aplicado no município de Cariacica, no estado do Espírito Santo que possui 176 (cento e setenta e seis) bairros, atualmente atendidos em rotas alternadas. Os dados necessários para esta pesquisa foram simulados a partir de informações cedidas pela empresa responsável pelo serviço no município.

Dez bairros com aproximadamente 1.300 ruas fazem parte da área de estudo, na Figura 1. A base de dados utilizada foi cedida pelo GEOBASES - Instituto Jones dos Santos Neves do Espírito Santo (IJSN-ES, 2008), que possui a base georreferenciada do Estado do Espírito Santo com suas principais características viárias.



Figura 1. Região Estudada no Município de Cariacica – ES.

Para aplicação da metodologia foi utilizado o software TransCAD 4.8. O software possui uma rotina específica para a coleta de lixo, que difere da rotina de roteirização em arcos pura por exigir que em todas as construções de rota haja demanda em todos os arcos. Optou-se por usar a rotina de Roteirização em Arcos (Arc Routing), pois a proposta exige que em alguns momentos a demanda seja zerada nos logradouros que já foram atendidos.

A heurística proposta inicia a sua 1^a etapa, que é a geração das primeiras rotas, com demanda em todos os arcos, porém a partir da segunda geração de rotas, todas as ruas atendidas anteriormente devem ter sua demanda zerada, evitando assim que uma rua seja atendida por mais de uma rota.

Além de informações que já existiam na base de dados do GEOBASES, tais como extensão do logradouro (em metros), nome do logradouro, nome do bairro, número de domicílios, ainda foram inseridos outros parâmetros necessários para o funcionamento da rotina no software. A velocidade adotada na realização do serviço de coleta foi de 20 km/h e quando havia a passagem no logradouro sem realização do serviço, 40 km/h. O tempo, em horas, gasto para coleta em cada rua foi calculado a partir da relação: extensão do logradouro/velocidade. De modo análogo, calculou-se o tempo, em horas, gasto pelo veículo para atravessar o arco sem realizar o serviço.

A quantidade de lixo gerada em cada logradouro foi estimada através do produto *número de*

*habitantes*3,1*0,65kg*, onde o 3,1 é o número médio de habitantes por domicílio no Espírito Santo, segundo Pesquisa Nacional de Amostras por Domicílio – PNAD (IBGE, 2005) e 0,65 kg é a quantidade lixo gerado por habitante segundo a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (IBGE, 2002).

Atualmente, quatro caminhões são utilizados para atender a região em estudo. Cada caminhão possui capacidade máxima de 10 toneladas. No entanto, a recomendação é que seja utilizado somente 08 toneladas por questões de segurança. Desta forma, a capacidade máxima do caminhão adotada neste trabalho é de 8 toneladas.

Para cada caminhão, existe uma equipe de coletores com carga horária de trabalho de 06 (seis) horas diárias.

5. APRESENTAÇÃO E INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

Depois de inseridos todos os dados necessários nas camadas de logradouros e a identificação do Depósito (que também é a garagem dos veículos) foi usada a rotina *Arc Routing* para a geração das rotas.

Este procedimento produziu três arquivos de saída: uma tabela que contém a informações sobre cada rota gerada (carga coletada, quantidade de logradouros atendidos, tempo gasto para realizar o roteiro, entre outros), um resumo de informação sobre o procedimento e um texto contendo o itinerário de cada veículo.

Quando o caminhão atinge sua capacidade máxima, deve retornar ao Depósito para descarregar. O tempo gasto para que os trajetos de ida e volta ao Depósito foram computados. Adotou-se que em média este percurso leva em torno de 25 minutos. Para cada rota foi adotado o tempo de 50 minutos, já que existe sempre um percurso de ida e outro de volta. Para aquelas que têm início ou término no logradouro onde está localizado o Depósito, apenas 25 minutos.

É apresentado na Tabela 1 o resumo das primeiras rotas geradas para região estudada.

Tabela 1. Rotas geradas para a 1^a rodada.

1 ^a ETAPA	Roteiros Gerados	Carga (kg)	Tempo de Serviço (horas)	Situação
	Rota 1	7973,36	1:32	Atendidas
	Rota 2	7987,46	1:33	
	Rota 3	7999,55	1:33	
	Rota 4	7983,43	1:33	
	Rota 5	7989,48	1:33	Não atendidas 2 ^a etapa
	Rota 6	7997,54	1:33	
	Rota 7	5861,64	1:08	

Analizando os resultados apresentados na Tabela 1, observa-se que em todas as rotas obtidas a capacidade máxima do caminhão foi utilizada, exceto na Rota 7. Isto caracteriza um melhor aproveitamento por capacidade do caminhão. Observa-se, ainda, que em todas as rotas geradas

ainda existe tempo de trabalho disponível para as equipes.

As Rotas 1, 2, 3 e 4 geradas pelo software na 1^a rodada estão apresentadas a seguir na Figura 2.



Figura 2. Rotas Geradas na Primeira Rodada.

Sabendo-se existem 04 caminhões disponíveis, obteve-se então, os primeiros roteiros de atendimento definidos a partir das Rotas 1, 2, 3 e 4. Foram computados seus tempos individualmente, acrescentando-se o tempo de 50 minutos a uma cada das quatro rotas computadas, já que nenhuma delas teve início ou fim na rua onde está localizado o Depósito (garagem). Fato este gerado pela metodologia usada pelo software.

Uma nova geração de rotas foi feita para redistribuir a carga de resíduo domiciliar existente nas Rotas 5, 6 e 7. Para isso, todos os logradouros atendidos nas quatro primeiras rotas tiveram suas demandas zeradas, porém os mesmos foram mantidos na região de estudo, a fim de possibilitarem a passagem dos caminhões por eles. Após este procedimento, 03 (três) novas rotas foram geradas.

Os resultados da segunda rodada da heurística para os logradouros ainda não atendidos estão apresentados na Tabela 2.

A análise da segunda rodada foi análoga a da primeira. Foram gerados 03 (três) roteiros de coleta para a área restante. Destaca-se a redução de carga coletada na Rota 3. Verificando os arquivos de saída, que contém os Itinerários de cada rota, observou-se que uma rota pode conter logradouros já atendidos por outra, porém sem haver coleta, sendo usado como passagem. Como nesta segunda etapa de geração de rotas, os logradouros já atendidos têm a demanda zerada, então

o número de vias com atendimento foi reduzido, consequentemente houve redução da carga a ser coletada.

Tabela 2. Rotas geradas para a 2^a rodada.

2 ^a ETAPA	Roteiros Gerados	Carga (kg)	Tempo de Serviço (horas)	Situação
	Rota 1	7906,86	2:00	
	Rota 2	7977,39	2:14	
	Rota 3	2456,29	0:41	Atendidas

As rotas geradas são apresentadas a seguir na Figura 3.

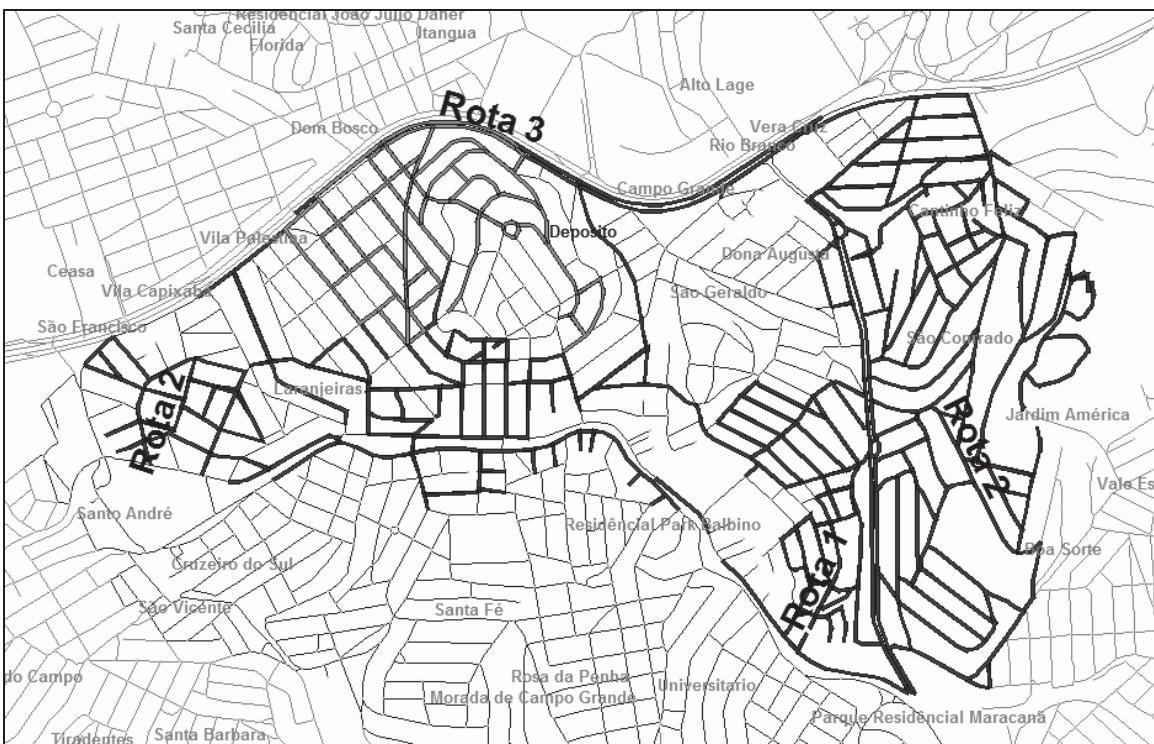


Figura 3. Rotas Geradas na Segunda Rodada.

Os resultados da heurística proposta são apresentados na Tabela 3. Em todos os roteiros propostos pelo TransCAD foram acrescidos 50 minutos em seus tempos, pois nenhuma das rotas teve início ou fim na rua em que estava localizado o Depósito (garagem).

Os Caminhões 1 e 2 tiveram os tempos de suas respectivas equipes de trabalho bem aproveitados, uma vez que suas rotas foram propostas com aproveitamento máximo da capacidade do veículo. Isto se deve somente por estar sendo o TransCAD, caso contrário não haveria necessidade.

O Caminhão 3 obteve um bom aproveitamento, mas ainda possui tempo trabalho disponível. O Caminhão 4, nesta segunda geração de rotas, não foi utilizado. Por isso, além do reaproveitamento dos caminhões os resultados apontam que ainda seria possível a redução da frota pra 03 (três) caminhões, já que o Caminhão 3 ainda possui tempo de trabalho disponível.

Dessa forma, ainda seria possível a geração de uma nova rota contendo apenas os logradouros atendidos pelo Caminhão 4.

Tabela 3. Resultados da heurística proposta.

Roteiros Gerados	Tempo de Serviço (em horas) 1ª rota do dia	Tempo de Serviço (em horas) 2ª rota do dia	Resultado da Heurística
Caminhão 1	2:22	2:50	5:12
Caminhão 2	2:33	3:04	5:37
Caminhão 3	2:23	1:34	3:57
Caminhão 4	2:23	-	-

6. CONCLUSÕES

Este artigo apresentou os resultados preliminares de uma nova proposta de heurística baseada na Roteirização em Arcos para auxiliar o planejamento da coleta de resíduos sólidos domiciliares nos municípios brasileiros.

Conforme visto, a ausência deste serviço urbano pode gerar diversos impactos ambientais, além de aumentar os gastos dos cofres públicos. Assim, construir ferramentas que auxiliem o planejamento do mesmo é uma tarefa relevante para a sociedade e para o meio ambiente.

Para testar a proposta foi feita uma análise de uma região do município de Cariacica – Espírito Santo e os resultados alcançados foram muito promissores, principalmente no que diz respeito aos dados simulados, já as rotas geradas em muito se aproximam da realidade do município. Isto nos dá suporte para expandir a metodologia para todo o município de Cariacica.

Uma das dificuldades encontradas durante a realização desse trabalho foi em conseguir uma base de dados geográficos georreferenciados do Estado do Espírito Santo contendo todas as informações necessárias para a resolução do problema. A maior parte das bases de dados geográficos encontradas faltava alguma das informações importantes.

O Instituto Jones dos Santos Neves – IJSN-ES, responsável pela execução do GEOBASES já vem trabalhando para incluir no mapa informações consideradas relevantes, como direção de fluxo, nome de todas as ruas, velocidade máxima permitida, tipo de logradouro (avenida, rua e rodovia), quantidade de lixo gerada por logradouro, número de domicílios, entre outros.

Como trabalho futuro espera-se automatizar todas as três etapas integrando-as em um único software. Também como trabalho futuro, espera-se ampliar a área de estudo para todo o município de Cariacica e comparar os dados gerados com os dados reais utilizados atualmente neste município.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a CAPES pela bolsa de Mestrado concedida a aluna do Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil - Transporte e o incentivo à pesquisa e o IJSN-ES, por disponibilizar, através do GEOBASES, a base de dados georeferenciada do município de Cariacica.

REFERÊNCIAS

- Beltrami, E.J. e Bodin, L.D. (1974) Networks and Vehicles Routing for Municipal Waste Collection. **Networks**, v. 4, p. 65-94.
- Bodin, L. e Kursh, S. (1978) A Computer-Assisted System for the Routing and Scheduling of Street Sweepers. **Operations Research**, v. 26, n. 4, p. 525-537, July-Aug.
- Bodin, L. e Kursh, S. (1979) A Detailed Description of a Computer System for the Routing and Scheduling of Street Sweepers. **Computers and Operations Research**, v. 6, n. 4, p. 181-198.
- Edmonds, J. e Johnson, E. (1973) Matching, Euler Tours and The Chinese Postman. **Mathematical Programming**, v. 5, p. 88-124.
- Eiselt, H.A.; Gendreau, M. e Laporte, G. (1995) Arc routing problems, Part I: The chinese postman problem. **Operations Research**, v. 43, n.2.
- Golden, B. L. e Wong, R. T. (1981) Capacitated Arc Routing Problems. *Networks*, v. 11, p. 305-315.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2002), **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2000**, Brasil.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2005), **Pesquisa Nacional de Amostras por Domicílio 2005**, Volume 26, Brasil.
- IJSN – ES (2008), **Instituto Jones dos Santos Neves do Espírito Santo**.
- Lacerda, M.G. (2003) **Análise de uso de SIG no sistema de coleta de resíduos sólidos domiciliares em uma cidade de pequeno porte**. Dissertação de Mestrado – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista.
- Maniezzo, V. (2004) Algorithms for large directed CARP instances: urban solid waste collection operational support. **UBLCS Technical Report Series**, Bolonha, Italy: University of Bolonha, 27 p.