

UMA PROPOSTA DE SOLUÇÃO PARA O PROBLEMA DE COBERTURA DA COLETA DOMICILIAR

Marcos José Negreiros Gomes, DSc
CCT-UECE – marcos.negreiros@uece.br

Claudio Barbieri Cunha, PhD
POLI-USP – cbcunha@poli.usp.br

Eduardo César Rodrigues Reis - eduasp@gmail.com
Aviemar Rodrigues Reis Filho - eng.aviemar@yahoo.com
Reis Consultoria Ltda

RESUMO

Este trabalho aborda e apresenta uma experiência de cobertura da coleta de lixo domiciliar realizada nas cidades de Andradina e Jales, em São Paulo, onde o serviço porta-em-porta feito pelos veículos de limpeza não pode ser executado em todas as ruas trafegáveis do município em função de restrições orçamentárias. Os municípios consideram a possibilidade de tolerar amontoar o lixo em esquinas por pouco tempo (20min), e deste modo a coleta mecanizada é executada em uma parte dos seguimentos de rua trafegáveis da cidade, enquanto a coleta manual é feita complementando o serviço. Apresenta-se aqui uma solução de cobertura usando uma abordagem multiobjetivo de rota em máxima cobertura, enquanto se atende a uma cobertura de esforço controlado realizada pelos garis, de modo a não tornar o serviço impraticável ao longo da semana. Uma abordagem de roteamento em arcos baseada no carteiro rural misto é feita, com resultados promissores para a aplicação prática, tendo os planos gerados comparativamente retornando ainda uma economia de 9,0% em distância ao que se pratica, com melhor e mais organizada cobertura, e que ainda pode reduzir bastante o tempo de coleta total e a fadiga dos garis.

Palavras Chaves: Coleta Domiciliar, Problema de Rota de Cobertura Máxima, Problema do Carteiro Rural.

ABSTRACT

This work approaches and presents an experience of covering the collection of household garbage carried out in the cities of Andradina and Jales, in São Paulo, where the door-to-door service carried out by compactors cannot be carried out globally in the municipality due to budget constraints. Municipalities consider the possibility of tolerating piling garbage on corners for a short time (20 minutes), and thus mechanized collection is carried out in a part of the city's trafficable street segments, while manual collection is carried out as a complement to the service. A coverage solution is presented here using a multi-objective route approach in maximum coverage, while meeting a controlled effort coverage carried out by the street sweepers, so as not to make the service impractical throughout the week. An arc routing approach based on the mixed rural postman is made, with promising results for practical application, with the plans generated comparatively returning savings of 9.0% in distance in relation to what is practiced, with better and more organized coverage that can reduce much the collection time and the garis fatigue.

Keywords: Domiciliary waste collection, max covering tour problem, rural postman problem.

1. INTRODUÇÃO

Ao longo dos anos o sistema de coleta de lixo brasileiro vem se aperfeiçoando cada vez mais, em função do aumento substancial do serviço de limpeza urbana porta-em-porta ao município, haja vista ser esta uma tarefa de obrigação de todo município brasileiro, conforme o plano nacional de resíduos sólidos (PRNS), (PLANARES, 2022).

A coleta de lixo residencial consiste no processo de coleta e transporte de resíduos gerados pelas residências. Envolve a coleta regular de vários tipos de resíduos, como lixo doméstico, recicláveis e materiais orgânicos. O objetivo da coleta de lixo residencial é garantir a destinação

adequada, minimizar o impacto ambiental e manter os padrões de limpeza e saúde nas comunidades. Este serviço desempenha um papel crucial na gestão e redução de resíduos, promovendo a reciclagem e preservando a saúde pública e o meio ambiente.

As coberturas da coleta domiciliar hoje atingem mais de 90% na maioria das grandes cidades brasileiras, com investimentos significativos dos municípios em contratação de empresas especializadas com mão de obra, equipamentos e infraestrutura de aterros-sanitários, estações de transferência, contentores, veículos compactadores, equipamentos de proteção individual e administração digital dos dados de evolução da produção e execução da coleta. Em especial nas grandes cidades, conta-se com recursos computacionais para o gerenciamento da coleta e monitoramento. Entretanto, esse processo de monitoramento nem sempre acompanha as necessidades de replanejamento e reprogramação dos serviços, que podem ocorrer não só em função dos imprevistos e interrupções naturais do dia a dia, como também decorrentes da evolução em crescimento ou mesmo diminuição da demanda de lixo em diferentes regiões das cidades.

Conforme se preconiza no PNRS, o serviço de coleta orgânica domiciliar deve ser realizado porta-em-porta, nas vias trafegáveis do município com demanda de serviço pelos moradores. Porém, em virtude dos preços e necessidades de coleta de alguns municípios da cidade de São Paulo, a coleta domiciliar vem sendo executada de forma mista (manualmente e mecanicamente), onde os garis/coletores realizam o serviço de retirada do lixo disponibilizado pelo munícipe da frente de suas casas para pontos específicos (em geral cruzamentos) onde o veículo compactador passa e coleta. Pretende-se com isto reduzir o custo da coleta pela redução significativa dos percursos, e mesmo pela possibilidade de se realizar a cobertura em tempo de completar as condições operacionais de carga máxima de trabalho da tripulação de coleta. Em contrapartida, o aumento na carga de serviço do garí/coletor acontece de forma significativa, tornando o serviço difícil e de grande rotatividade de funcionários que não aguentam a estafante tarefa de coleta manual no ritmo que deve se impor de modo a tornar possível a execução da tarefa diária.

Este trabalho apresenta um ensaio realizado nas cidades de Andradina e Jales em São Paulo, no período de Fevereiro a Junho de 2023, onde os municípios permitem a realização da coleta domiciliar com acumulação. Tal permissão indica a realização do trabalho de coleta de forma diferenciada ao que se pratica normalmente nas cidades grandes, e torna-se um desafio no processo de resolução do problema.

Este texto está organizado do seguinte modo: na seção 2 apresentamos a revisão bibliográfica dos temas relacionados ao problema em foco. Na seção 3 apresentamos detalhadamente o problema levantado na prática das duas cidades e entendemos melhor como acontece de fato o que se realiza, propondo-se por fim o problema e na seção 4 mostra-se o processo de solução considerado de forma a automatizar através de métodos de otimização adequados, a solução para outras cidades com a mesma dificuldade operacional e de custos.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O problema de coleta de resíduos domiciliares pertence à categoria de problemas derivadas do Problema do Carteiro Chinês (do inglês, *Chinese Postman Problem*, CPP) que consiste em encontrar um percurso de menor distância passando por todos os trechos de vias (arcos) de uma região. Uma importante variação do problema denomina-se Problema do Carteiro Rural (do inglês, *Rural Postman Problem*), onde um sub-conjunto de arcos de uma região são requeridos serem atravessados por um percurso saindo de uma origem e a ela retornando com custo mínimo, (Corberán et al. 2014).

No caso da coleta de resíduos domiciliares, deve-se considerar uma frota de veículos de coleta. Cada veículo deve sair de uma garagem e passar sobre um determinado conjunto de vias, coletando resíduos de modo que a distância total percorrida pela frota seja minimizada, o que significa evitar passar mais de uma vez em um trecho de via (Janela et al., 2022). A malha viária pode ser representada através de um grafo composto de nós e arcos. Os nós correspondem às interseções (cruzamentos) de vias e os arcos são os trechos de vias entre cruzamentos. O problema de coleta de resíduos deve considerar ainda a quantidade de resíduos a ser coletada tendo em vista a capacidade de carga de cada veículo, bem com a duração máxima da jornada de trabalho de cada equipe.

O problema de máxima cobertura de rotas (do inglês, *Maximal Covering Tour Problem*) tem sido bastante estudado pela literatura inicialmente como um problema bi-objetivo onde dados um conjunto de N pontos de um grafo completo, deseja-se passar por p pontos de N ($1 < p \leq N$), de tal modo a minimizar o percurso também maximizando o acesso aos pontos não diretamente ligados a eles, de tal modo que o acesso a eles se dá pela minimização da distância entre os pontos em p para alcançar os pontos fora de p ($N-p$) mais próximos. No problema de máxima cobertura de rota o objetivo de acesso é para maximizar a demanda total dentro de uma máxima distância pré-especificada de percurso até uma parada, (Current & Schilling, 1994). Trata-se de um problema NP-Difícil, que vem sendo estudado em diversas versões tanto determinísticas quanto estocásticas, ou mesmo com múltiplos veículos, (Karaoglan et al, 2018), (Artigues et al, 2018), (Magnolis et al, 2021). Para uma boa revisão no tema, considerando abordagens exatas e heurísticas para este problema e variações sugere-se Glisi et al (2020).

Outra abordagem, proposta por Jozefowicz et al. (2007) trata da definição e solução de um problema de roteamento em arcos bi-objetivo. Esse problema é uma generalização do problema do percurso de cobertura, o que significa que a distância de cobertura e as restrições associadas foram substituídas por um novo objetivo. Os autores propuseram uma estratégia cooperativa de duas fases que combina um algoritmo evolutivo multiobjetivo com um algoritmo *branch-and-cut* inicialmente projetado para resolver um problema de passeio de cobertura de objetivo único. Os experimentos foram conduzidos utilizando instâncias geradas aleatoriamente e dados reais. Os conjuntos ótimos de Pareto foram determinados usando um método exato bi-objetivo baseado em uma abordagem de restrição ε com um algoritmo *branch-and-cut*.

Já considerando-se problemas de cobertura em arcos, (Malandraki & Daskin, 1993) propuseram o problema do Carteiro Chinês de Máximo Benefício (MPCPP, *Maximal Profitable Chinese Postman Problem*) onde um benefício é obtido por cada vez que se passa em uma direção de um arco de uma rede (podendo ser distinto), o objetivo é obter o percurso ótimo que maximiza o benefício. Desde então, a literatura apresentou diferentes variações como: o Carteiro Rural Coletor de Valores (PCRPP, *Prize Collection Rural Postman Problem*), onde não existem ligações requeridas e sim valores nas ligações que são obtidos da primeira vez que são percorridos, Arróz et al (2009); o Problema de Roteamento em Arcos Bastando o Mais-Próximo (CEARP, *Close-Enough Arc Routing Problem*), onde o conjunto de arcos requeridos não é fornecido, porém um conjunto W de itens (clientes) localizados ao longo da área de cobertura do carteiro rural deve ser atendido, o objetivo do problema é encontrar o percurso de custo mínimo do carteiro rural que inicia e termina em um vértice origem e que cobre todo o percurso a uma determinada distância d_{max} de um arco do percurso, (Golden et al., 2008), (Há et. al., 2014); e mais recentemente o Problema CEARP com máximo benefício (PCEARP), onde nem todos os itens (clientes) devem ser servidos porém somente aqueles de maior valor de benefício indicado, esta versão pode ser vista como o problema do carteiro rural com máximo benefício (PRPP), onde os arcos requeridos são agrupados em famílias associadas aos itens

(clientes), e para servi-los é suficiente atravessar um dos seus arcos associados, (Bianchessi et al., 2022).

Uma aplicação de cobertura bem próxima à aplicação com roteamento em arcos indicada, aborda o uso da tecnologia RFID para leitura automática de medidores de energia ou água, sendo desenvolvida recentemente por Roy et al (2022). Nesta aplicação cada medidor transmite sinais em uma *tag* RFID que são lidos por uma unidade montada sobre um veículo que passa a uma distância máxima específica. O percurso do veículo pode ser modelado pelo problema de roteamento de veículos “close-enough” sobre uma malha viária, (Gulczynski et al, 2006). Apesar disso, problemas graves na medição aparecem e são discutidos de modo a permitir a leitura automática com sucesso.

Negreiros et al. (2022) propuseram uma tecnologia de sistema de apoio à decisão espacial baseada em problemas de roteamento de arcos para desenvolver planos táticos e operacionais, e gerenciar atividades de coleta de resíduos sólidos, incluindo coleta de lixo residencial e varrição manual e mecanizada de vias. A tecnologia proposta também permite gerenciar serviços de resíduos sólidos por meio de otimização (minimizando custos, distâncias e recursos do setor). Pode ser aplicada diretamente aos municípios brasileiros por conter suas principais características naturais. O sistema usa técnicas avançadas de roteamento em arcos para setor e agendamento de setor, agendamento de frota e equipe, bem como o gerenciamento de planos diários utilizando aplicativos para telefones celulares tipo *Smartphones Android*. A tecnologia também permite inspeções do sistema de resíduos de forma transparente para todos os participantes, em tempo real. São também apresentados os resultados de problemas reais de coleta de resíduos residencial e de varrição manual e mecanizada em duas cidades brasileiras (Campo Grande e São Paulo). As implantações do plano alcançaram de 12 a 28% de economia real em custos fixos e variáveis para setores (veículos e trabalhadores) e rotas (tempos e distâncias) para coleta de lixo residencial e de 7 a 42% de economia na varrição manual e mecanizada para as empresas.

Janela et al. (2022) abordaram o problema de coleta de resíduos domésticos (ou porta a porta) em um município português (Seixal), que foi modelado como uma generalização de um problema de roteirização em arcos capacitados em rede mista, que é conhecido por ser um problema NP-Difícil. A metodologia proposta utilizou: i) um SIG (sistema de informação geográfica), para *input/output* e para reduzir as dimensões do problema; ii) uma matheurística que resolve iterativamente um novo modelo híbrido; e iii) duas versões de uma matheurística de duas fases. Esta última visou a geração de viagens conectadas e compactadas. Durante a primeira fase, denominada atribuição inicial, alguns trechos de vias que requerem serviço são atribuídos a jornadas de veículos. Na segunda fase, o modelo híbrido termina a atribuição e gera um conjunto viável de viagens. A qualidade das soluções geradas foi avaliada através do tempo total, bem como por algumas medidas de atratividade. Estas medidas avaliaram a adequação das soluções ao caso real estudado, um aspecto fundamental para viagens que têm de ser aceitas pelos profissionais envolvidos nessas operações. Os resultados computacionais com 18 instâncias relativas a Seixal/PO, com 265-1223 nós e 492-2254 arcos, apontam para o bom desempenho da metodologia proposta.

3. CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

A coleta dos resíduos sólidos domiciliares deve ser realizada de porta em porta em todas as vias públicas oficiais abertas à circulação de veículos e acessíveis aos veículos de coleta em marcha reduzida. E em muitos municípios é permitido o amontoamento dos resíduos nas vias públicas, desde que não ultrapasse um período de tempo pré-determinado.

Tal amontoamento manual de resíduos não é usual em sistemas de coleta de resíduos em outros países, e só é possível no Brasil pois a disposição ainda é feita utilizando sacos plásticos ao invés de contentores, possibilitando o amontoamento.

Nesse contexto, o presente trabalho visa avaliar em que condições da operação de coleta de resíduos essa peculiaridade da operação ocorre através do monitoramento da operação realizada.

Como consequência, o problema de cobertura tornar-se-ia um grande desafio a ser resolvido, pois este passaria de cobertura de todas as vias trafegáveis a um problema de “cobertura de todas as vias trafegáveis que causem o menor dispêndio em esforço dos garis”, ainda minimizando os custos de trajeto e mantendo a quantidade dos setores atuais. Conforme posto na literatura investigada, este problema tem proximidade com o problema (CEARP) ou mesmo o (PCEARP) conforme acima expostos, porém como é necessário considerar o trajeto do gari, o problema com dois atores distintos ainda não foi investigado pela literatura.

A análise das operações de coleta permitiu a proposição de uma nova sugestão de rotas para a área de cobertura com seus modos específicos. Para tal foi utilizado o SisRot[®]LIX, e seus algoritmos de roteamento do carteiro rural misto, Negreiros et al (2022).

3.1. Avaliando o Contexto de Cobertura

O sistema de monitoramento móvel CherryTrack[®]LIX Múltipla-Empresa-Múltipla-Cidade foi implementado para os motoristas da coleta domiciliar de dois municípios, Andradina e Jales, ambos no estado de São Paulo. Recomendou-se aos motoristas que simplesmente ligassem o equipamento e inicializassem no setor de coleta que iriam atender, e ao concluírem todo o serviço no local de disposição dos resíduos, finalizassem as rotas e o aplicativo. Os celulares *Smartphones* disponibilizados ficaram com os 4 motoristas dos 4 setores de Andradina em operação diária, e com os 4 motoristas de Jales dos 4 setores diários. Houve pouca resistência no processo, motoristas tinham problemas de queda do celular e parada de rota, assim como um deles parou a rota “sem querer”, pois esqueceu de pressionar o botão novamente para reiniciar o acompanhamento.

Os resultados evidenciaram que a empresa que realiza os serviços de coleta de resíduos residencial estava deixando de passar por vários trechos ruas, com índice de cobertura dos locais obrigatórios variando entre 65 e 80% (Figura 1). Também foi observado que estava excedendo o limite de uso das chamadas puxadas (coleta manual pelos garis), como evidenciado na Figura 2, a partir da visualização pelo CharryTrack[®]LIX dos dias de coleta no mesmo setor.

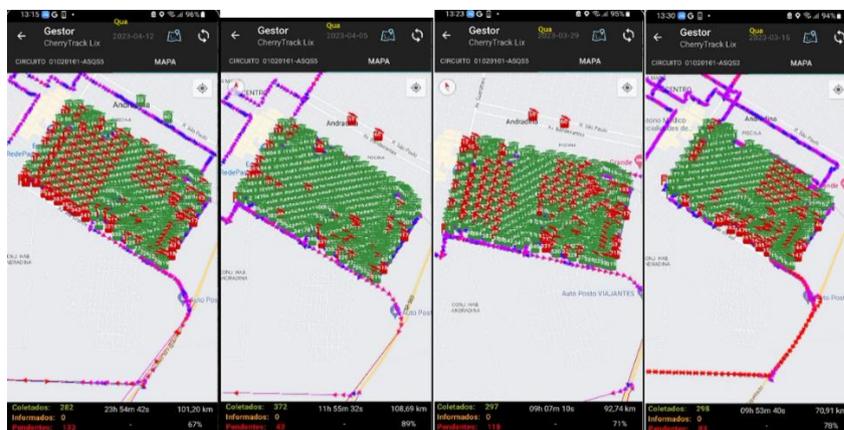


Figura 1: Resultados do monitoramento da coleta, Andradina/SP



Figura 2: Acumulação da coleta manual, enquanto o veículo não passa na via, Jales/SP.

O trajeto percorrido pelo coletor pode ser visto na Figura 3; nela, observa-se “o vai e vem” do coletor para amontoar o lixo. Já o trajeto do caminhão pode ser visto na Figura 4. Para intuir a composição deles de forma complementar de modo a se entender o sincronismo entre as tarefas, foi feita uma composição dos dados visuais de travessia provenientes da medição com os dados da rastreadora (em azul contínuo) e com os dados do percurso do gari (em setas pequenas multicoloridas) em Andradina no mesmo setor 2 e no mesmo dia (28/06), Figura 5.

Essa visualização nos trouxe o resultado de percurso do gari e do veículo conforme pode ser visto na Tabela 1, considerando os setores 2 e 6 em dias distintos, 20/6/23 (setor 6) e 28/6/23 (setor 2), onde foram utilizados o mesmo veículo e tripulação.

Esses resultados apontam que a forma atual de operação está causando problemas a seus garis (altíssima fadiga no trabalho) devido ao excessivo número de puxadas e longas distâncias percorridas pelo único gari que faz coleta manual. Uma alternativa para mitigar esse problema seria a reavaliação das condições operacionais de coleta com 4 setores por dia (3 diurnos e um noturno), passando para 5 setores por dia (4 diurnos e um noturno). Porém a empresa indicou que tal situação não poderia ser absorvida pela municipalidade de Andradina, pois os custos da coleta estão nos limites da prefeitura. Assim, opta-se pela necessidade de uma solução de cobertura que seja de melhor aproveitamento.

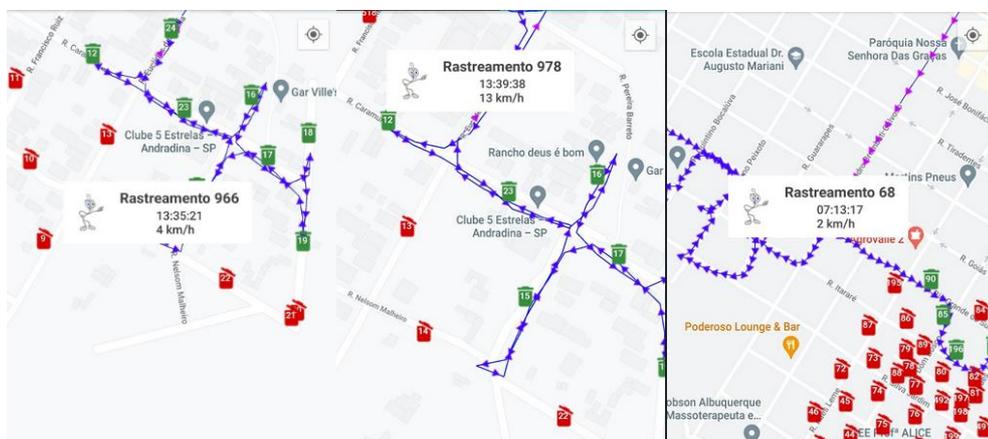


Figura 3: Traçado padrão do trajeto do coletor.



Figura 4: Lixo amontoado pelo coletor da coleta domiciliar no setor 2 de Andradina/SP.

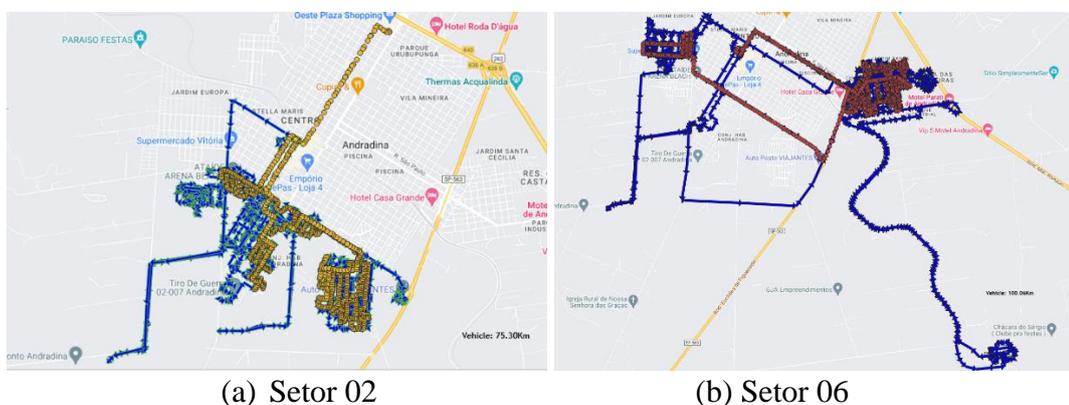


Figura 5: Complemento entre rotas do gari e do veículo nos setores 02 e 06 de Andradina/SP.

	Hora	Rastreamento CherryTrack
Saída Pto Apoio	07:11:33	Início Rota
Início da Puxada 1	08:21:19	282
Fim da Puxada 1	12:38:11	853
Início Puxada 2	13:24:02	1085
Fim da Puxada 2	14:24:22	Última Posição
Tempo total:	07:12:49	Setor 6
Distância total:	28,88 km	
Saída >Ini Puxada 1	-7,12 km	
Fim Pux1 > Ini Pux 2	-8,53 km	
Distância em Puxada	13,23 km	(1+2)
Tempo em Puxada	05:17:12	(1+2)

	Hora	Rastreamento CherryTrack
Saída Hotel	06:51:24	Início Rota
Chegada Pto Apoio	06:57:00	42
Saída Pto Apoio	07:09:51	43
Início da Puxada	07:13:17	68
Fim da Puxada	13:35:21	966
Chegada Pto Apoio	13:50:59	1051
Finalizar Rota	13:53:13	Última Posição
Tempo total:	07:01:49	Setor 2
Distância total:	25,60 km	
Dist. Hotel->Pto Apoio	-2,34 km	
Dist. Pto Apoio->Set	-1,00 km	
Dist. Set->Pto Apoio	-2,71 km	
Dist em Puxada	19,55 km	
Tempo em Puxada	06:22:04	

Tabela 1: Percursos do gari nos setores 6 e 2 de Andradina/SP (dias 20 e 28/06).

Os movimentos do coletor e do caminhão, como se pode ver na Figura 5, são ambos, complementares, e indicam que não se pode exigir demais do primeiro; porém deve ser realizado devido às restrições impostas aos custos da coleta pagos pela municipalidade. Surge aqui o problema de cobertura de rotas, onde há, pois, dois movimentos a analisar. O movimento do coletor e o movimento do caminhão. Assim, passamos a descrever o problema considerando

inicialmente o percurso do caminhão coletor com cobertura de atendimento (permitindo coleta manual).

4. Resultados para Diferentes Padrões de Cobertura

Para a realização deste trabalho, foram geradas rotas para a área de cobertura com seus modos específicos, utilizando o SisRot[®]LIX, e seus algoritmos de roteamento do carteiro rural misto, (Negreiros et al, 2022). As soluções empregadas são ótimas para o percurso do veículo, no entanto, considera-se aqui a cobertura alcançada pela solução alternativa conforme a topologia indicada. As Figuras 7 e 8 apresentam ambas, topologia (à esquerda) e solução (à direita) do carteiro rural.

Abordando as áreas de cobertura de formas diferentes, numa parte do setor 1 de Andradina, obtém-se um conjunto de diferentes soluções para o problema de cobertura. Cada abordagem considera que o gari irá se deslocar de forma diferente, permitindo um maior ou menor descanso entre o encontro de passagens do veículo. Na horizontal a cada duas passagens sem coleta uma do veículo em coleta, a cada três passagens sem coleta uma passagem com coleta do veículo, e assim por diante mudando-se para a versão horizontal. Um enorme conjunto de combinações de padrões de cobertura podem ser gerados então.

As Figuras 7 e 8 apresentam também algumas das diferentes maneiras de atender a uma área específica absolutamente retangular (de fácil geometria) com modos de passagem (Figura 7) que inicialmente se referem a coleta mecanizada usando preferencialmente as vias horizontais e gradualmente se percorrendo um número maior de vias verticais (situações A-B-C-D). Nota-se que a situação B seria a mais adequada em esforço para Andradina com um único homem que faz a coleta manual, ou mesmo, uma alternância dos coletores entre duas passagens verticais, permitindo que haja melhor recuperação da equipe.

Na Figura 7 é evidenciada a mesma área, porém coberta preferencialmente pelas linhas verticais e gradualmente pelas linhas horizontais (E-F-G-H). A opção H é uma cobertura realizada totalmente pelo veículo. A Tabela 2 apresenta a quilometragem e o esforço empreendido para cada opção, resumindo o processo decisório de cada alternativa de solução de coleta manual.

Tabela 2: Soluções de percurso de coleta manual e mecanizada simultânea, Andradina.

Alternativa	Percurso Mecanizado (Km)	Coleta Manual		Coleta Mecanizada	
		Segmentos	Perímetro	Segmentos	Perímetro
A	57.2	68	8,41	435	38.88
B	54.2	90	11,29	413	36.00
C	57.2	96	10,74	407	36.55
D	58.1	99	11,84	404	35.45
E	50.9	118	14,39	385	32.90
F	54.2	107	12.98	396	34.31
G	54.7	100	14.37	403	32.92
H	56.2	88	10.2	415	37.02
Completo	69.17	0	0	503	47.29

Numa visão gráfica, é possível acompanhar as diferentes alternativas através de uma curva de Pareto, demonstrando-se que a alternativa E é a de mínimo custo com o esforço mais econômico entre as soluções apresentadas, porém esta alternativa não permite que se atenda às condições

impostas de 20min máximo de amontoamento do lixo, levando-nos a solução B como a mais econômica e que atende melhor a esta condição.

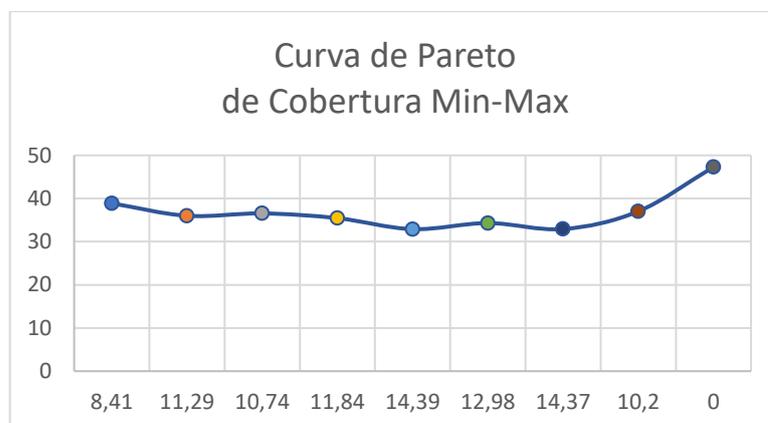


Figura 6: Visão da solução de cobertura, considerando a relação entre as coberturas veículo x coletor para a função multiobjetivo intrínseca ao problema de máxima cobertura dos coletores mínima distância de veículo percorrida.

Estendendo-se a metodologia apresentada para os setores 2 (Seg-Qua-Sex) e 6 (Ter-Qui-Sab) de Andradina aqui estudados, a aplicação retorna os resultados, comparados aos dados de movimentação de veículos obtidos da empresa rastreadora, conforme Tabela 3. Já a Tabela 4 apresenta os resultados visuais de máxima cobertura considerando a solução calculada pelo SisRot®LIX para uma e duas viagens do veículo de coleta. A solução calculada retorna uma economia considerável no percurso dos caminhões, 9,00%, enquanto o percurso dos garis não se pode obter tal informação porque não foi observado em campo com GPS o trabalho do segundo gari que operou na coleta manual nos dois setores. Os percursos calculados pelo SisRot®LIX usam os caminhos mais rápidos.

Setores	Solução de Campo		Solução Proposta	
	Veículo	Gari	Veículo	Gari
Setor 2	75,70Km (08:50)	G1 - 19,55Km(06:22) G2 - Não avaliado	69,77Km (08:40)	G1-15,56Km(05:21) G2-13,67Km(04:42)
Setor 6	100,06Km (11:20)	G1 - 13,23Km(05:17) G2 - Não avaliado	93,38Km (10:52)	G1-13,53Km(04:39) G2-18,37Km(06:19)
Total	175,70Km(20:10)	-	159,88Km(19:12)	-

Tabela 3: Resultado das rotas com cobertura máxima selecionada em duas viagens, Andradina.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho mostra que a situação de cobertura da coleta domiciliar nos municípios de Andradina e Jales pode ser resolvida através de uma revisão no atual processo de coleta realizado, baseado no serviço combinado de coleta manual e de coleta mecanizada. Este serviço atualmente faz com que a carga de trabalho principalmente em Andradina, foco maior do estudo, se torne um problema para a empresa, que tem tido dificuldades em operacionalizar a coleta domiciliar principalmente nos dias de maior volume de lixo (Segundas e Terças).

O estudo utilizou uma abordagem de cobertura bi-objetivo, que se mostra vantajosa em relação ao que se pratica na empresa, com uma economia de 6,7% em distância nos setores 2 e 6 investigados, porém permitindo a realização da tarefa de coleta manual muito abaixo do tempo de serviço atual executado, haja vista o melhor aproveitamento das vias principais pelo veículo. O estudo mostra então que é necessário a automatização da solução, através de uma metodologia de roteamento em arcos adequada, e que deverá ser objeto de investigação futura. Porém a sua condução atual é favorável à realização de planos de execução utilizando as mesmas ferramentas aqui empregadas.

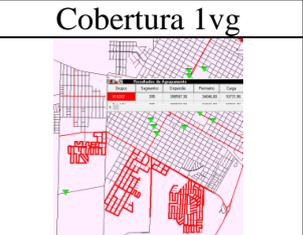
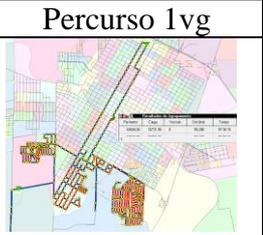
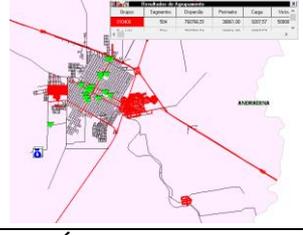
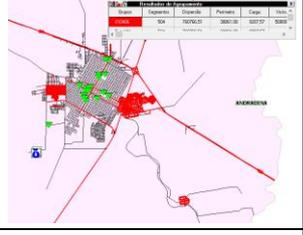
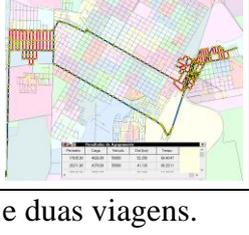
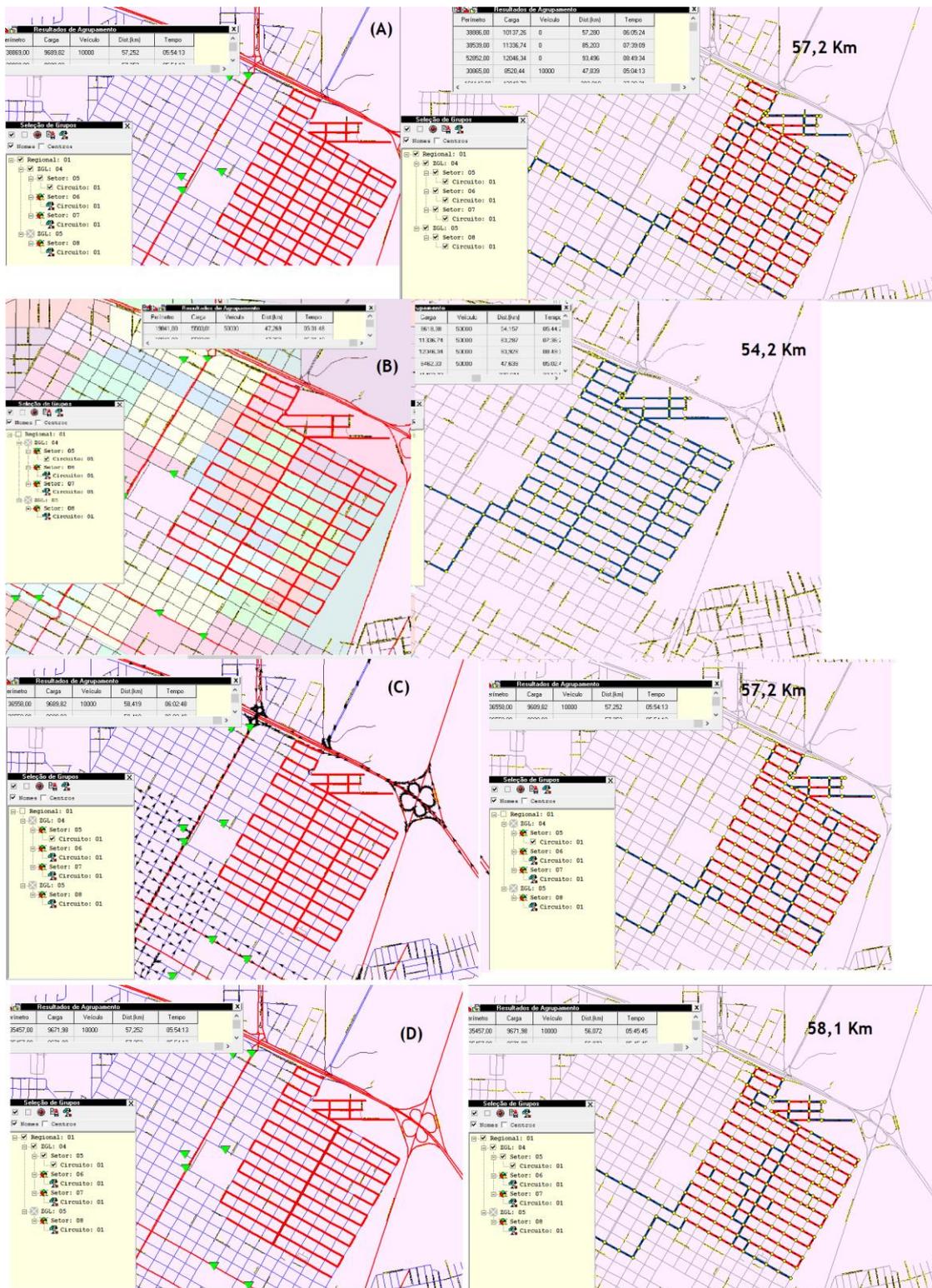
	Área de Coleta	Cobertura 1vg	Percurso 1vg	
Setor 2				
Setor 6				
	Área de Coleta	Cobertura 2vg	Percurso 1ª vg	Percurso 2ª vg
Setor 2				
Setor 6				

Tabela 4: Resultado das rotas com cobertura máxima selecionada em uma e duas viagens.



CONSERVITA - ANDRADINA - SETOR 1 - AVALIAÇÃO DISTANCIA PERCORRIDA X FADIGA DE GARIS COM DIFERENTES NIVEIS DE INTENSIDADE DE SERVIÇO MANUAL

Figura 7: Linhas horizontais cobertas preferencialmente às verticais, que aumentam gradativamente em quantidade.



COLETA DOMICILIAR MANUAL - CONSERVITA - ANDRADINA SETOR 1 - SQS DIURNO

Figura 8: Linhas verticais cobertas preferencialmente às horizontais, que aumentam gradativamente em quantidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arróz, J., Fernandez, E., Meza, O. (2009) “Solving the prize-collecting rural postman problem”, *European Journal of Operational Research* vol 196 pp 886–896
- Artigues, C. Jozefowiez, N., Sarpong, B.M. “Column generation algorithms for bi-objective combinatorial optimization problems with a min–max objective”, *EURO J Comput Optim* vol 6, pp 117–142, (2018), <https://doi.org/10.1007/s13675-017-0090-6>
- Bianchessi, N., Corberán, A., Plana, I., Reula, M. , Sanchis, J-M. (2022) The Profitable Close-Enough Arc Routing Problem, *Computers & Operations Research* vol 140 DOI: 105653
- Corberán, A. et al. “The rural postman problem on directed, mixed, and windy graphs”, *Arc Routing: Problems, Methods, and Applications*, Chapter 6, Edition: MOS-SIAM Series on Optimization, MO20, (2014) DOI: 10.1137/1.9781611973679.ch6
- Corberán, A., Plana, I., Reula, M. , Sanchis, J-M. (2019) “A matheuristic for the Distance-Constrained Close-Enough Arc Routing Problem”, *TOP* (2019) vol 27 pp 312–326
- Current, J., Schilling, D. “The median tour and maximal covering tour problems: Formulations and heuristics”, *EJOR* Vol 73, pp 114-126.
- Glisi, E., Roberti, R., Jozefowiez , N., Nguveu, S. “Exact methods for mono-objective and Bi-Objective Multi-Vehicle Covering Tour Problems”, *European Journal of Operational Research* vol 283, pp 812–824, 2020
- Golden, B., Raghavan, S. and Wasil, E. (2008) “Advances in meter reading: Heuristic solution of the close enough traveling salesman problem over a street network,” *The vehicle routing problem: Latest advances and new challenges*, Springer-Verlag, Berlin, pp. 487–501.
- Gulczynski, D., Heat, J., Price, C. “The close enough traveling salesman problem: A discussion of several heuristics”, in *Perspectives in Operations Research*, 2006 DOI: 10.1007/978-0-387-39934-8_16
- Há, M.H., Bostel, N., Langevin, L., Rousseau, L-M. (2014) “Solving the close-enough arc routing problem”, *Networks*, DOI 10.1002/
- Janela J., Mourão, M. C. e L. S. Pinto (2022). Arc routing with trip-balancing and attractiveness measures — A waste collection case study. *Computers & Operations Research*, v. 147, p.105934
- Jozefowiez, N., Semet, F. e E-G. Talbi. (2007). The bi-objective covering tour problem. *Computers & Operations Research*, v. 34, n.7, p. 1929-1942, <https://doi.org/10.1016/j.cor.2005.07.022>.
- Karaoglan, I. , Günes, E. , Koç, Ç “The Multi-Vehicle Probabilistic Covering Tour Problem”, *European Journal of Operational Research*, pp 271 278–287, 2018
- Margolis, J.T., Song, Y. , Mason, S.J. “A multi-vehicle covering tour problem with speed optimization”, *Networks*. Vol 79 pp 119–142. *Networks*. 2022. DOI: 10.1002/net.22041
- Negreiros, M. J., Palhano, A. W. C. e Reis, E.C. (2022). Sector arc routing-based spatial decision support system for waste collection in Brazil. *Waste Management & Research*, v. 1, p. 0734242X2211043.
- Roy, D.S., Defryn, C., Golden, B., Wasil, E. “ Data-driven optimization and statistical modeling to improve meter reading for utility companies”, *Computers & Operations Research* Vol 145, 2022, <https://doi.org/10.1016/j.cor.2022.105844>
- PLANARES, “Plano Nacional de Resíduos Sólidos”, Ministério do Meio-Ambiente Decreto N° 11.043, de 13 de abril de 2022