

Modelo Heurístico para Otimização de Rotas nos Serviços de Leitura de Hidrômetros

Suvania A.O.Pureza

Universidade Federal do Rio Grande – Programa de Pós Graduação em Modelagem Computacional
Campus Carreiros, Rio Grande, RS
E-mail: suvaniapureza@hotmail.com

Elaine C. Pereira

Universidade Federal do Rio Grande - Programa de Pós Graduação em Modelagem Computacional
Campus Carreiros, Rio Grande, RS
E-mail: ecpdm@terra.com.br

Catia Maria Machado

Universidade Federal do Rio Grande - Programa de Pós Graduação em Modelagem Computacional
Campus Carreiros, Rio Grande, RS
E-mail: catiamachado@furg.br

Resumo: *Este trabalho tem por objetivo propor uma metodologia heurística para o Problema de Cobertura de Arcos aplicado aos serviços de saneamento, em específico na leitura de hidrômetros. Dentro deste contexto foi desenvolvido um aplicativo que permite o planejamento de rotas de maneira que os custos em distância percorrida sejam reduzidos e mantenham-se aproximadamente os mesmos em todos os percursos. A metodologia foi dividida em quatro etapas. Na primeira etapa, para compreender melhor o problema, fez-se uma pesquisa de campo organizando os dados disponibilizados por uma empresa de saneamento. A segunda etapa foi caracterizada pelo cadastramento de pontos em um mapa georeferenciado da região escolhida para a pesquisa. Os pontos cadastrados serviram para determinar e conseqüentemente, designar as medianas relacionadas, o que constitui a terceira etapa. Para isso utilizou-se respectivamente o algoritmo de Teitz Bart modificado e o algoritmo de designação de Gillet e Johnson adaptado. Ao final desta etapa formaram-se os subsetores de atendimento para os leituristas. Na quarta e última etapa, foram determinadas as rotas de cada subsetor através do algoritmo genético. A eficiência das heurísticas que embasaram o aplicativo desenvolvido, foi comprovada através dos testes realizados, os quais obtiveram resultados de boa qualidade.*

1. Introdução

Os serviços de saneamento têm despertado maior atenção, desde o século passado. Essa atenção foi aumentando à medida que cientistas constataram em suas pesquisas que muitas doenças eram causadas através da transmissão de agentes físicos, químicos e biológicos contidos na água. Segundo [6], o saneamento caracteriza o conjunto de ações socioeconômicas que têm por objetivo alcançar Salubridade Ambiental.

De acordo com o Atlas de Saneamento 2011, entre 2000 e 2008 houve um avanço no número de municípios cobertos pelo saneamento básico em todas as regiões do Brasil, apesar de persistirem diferenças regionais marcantes na abrangência municipal dos serviços de esgotamento sanitário, de abastecimento de água, de manejo de águas pluviais e de resíduos sólidos.

Ao que se refere a saneamento citam-se alguns tipos de serviços básicos relacionados ao assunto, como: serviços de abastecimento de água as populações, serviços de coleta, tratamento e disposição adequada e segura de águas residuais, como exemplo, os esgotos sanitários; serviços de coleta de águas pluviais e controle de inundações. É responsabilidade dos serviços de saneamento básico eliminar ou reduzir elementos químicos e micro-organismos a concentrações que não sejam prejudiciais à saúde.

Tratando-se ainda do serviço de saneamento é mencionado o setor de faturamento que toma como base a leitura de hidrômetros instalados nos prédios residenciais, comerciais e públicos. Para a realização desse serviço funcionários, denominados leituristas, são encarregados de deslocarem-se até as residências, identificarem os hidrômetros das mesmas e utilizarem um microcomputador para emitir a fatura. Além de conferirem dados do logradouro, prestarem informações diversas e verificarem as condições de instalação predial de água. Essa tarefa é realizada através de caminhada, podendo gerar um desgaste físico e de tempo, ocasionando impactos econômicos além de influenciar na qualidade de vida dos funcionários e consequentemente no atendimento oferecido a população.

Diante desse contexto, foi proposto um modelo para o Problema de Cobertura de Arcos aplicado a um estudo de caso relacionado ao serviço de leituras de hidrômetros da Companhia Riograndense de Saneamento - CORSAN, da cidade de Rio Grande, RS, tendo o objetivo de otimizar o percurso realizado por cada leiturista e obter rotas que tenham aproximadamente a mesma distância. Para isso, foram utilizadas técnicas da pesquisa operacional, bem como problemas de otimização combinatorial em específico, os Problemas de Cobertura de Arcos, associados a metaheurística dos Algoritmos Genéticos (AG's).

Para modelar o Problema de Cobertura de Arcos desenvolveu-se uma metodologia dividida em quatro etapas. Na primeira etapa, foram organizados os dados reais relacionados ao serviço de leitura através de uma pesquisa de campo com o fim de caracterizar e estruturar o problema. Na segunda etapa, foi definido um setor, dentre os dez utilizados atualmente nos serviços de leitura. Após, foi feito o cadastramento de pontos utilizando um mapa georeferenciado do setor escolhido anteriormente. Na terceira etapa, foram estabelecidas as medianas necessárias para o problema, designando as mesmas aos demais pontos cadastrados. Dessa maneira, foram formados os subsetores de atendimento. Logo, na quarta e última etapa, o percurso a ser obedecido dentro de cada subsetor foi determinado.

Na primeira etapa, pesquisa de campo e estruturação do problema, foram realizadas uma série de entrevistas com funcionários responsáveis pelo setor de faturamento da empresa e também uma pesquisa bibliográfica relacionada a casos semelhantes que utilizaram técnicas da Pesquisa Operacional. Através das entrevistas foram coletadas várias informações sobre o processo de leitura, sendo essas organizadas e analisadas. Atualmente, a empresa conta com a participação de oito Leituristas que têm a função de efetuar as marcações de consumo de água em dez setores de atendimento num período de 20 dias úteis.

A partir das informações obtidas, partiu-se para a segunda etapa para determinar a região de pesquisa, sendo esta formada pelo setor oito. Este setor contempla características importantes pois abrange grande parte da área central do município, e também locais periféricos. Dessa forma, o modelo proposto contemplou características gerais que poderiam se adaptar em outros setores de atendimento, ou seja, em outras regiões.

Atualmente o setor oito, possui 8.016 ligações distribuídas em 24 rotas obtidas através do Sistema Comercial Integrado (SCI), desenvolvido especificamente para a companhia. Partindo disso, foi possível determinar o número de ligações e de hidrômetros nas 24 rotas que compõem o setor. Além disso, obteve-se as distâncias totais percorridas em cada uma das 24 rotas apresentadas, totalizando 115.000 metros. Para isso, teve-se como auxílio, o programa Google Maps (programa desenvolvido pelo Google, onde é possível obter as distâncias de um local a outro e consequentemente sua rota).

Nos serviços de leitura o funcionário deve percorrer ruas referentes às leituras que deve realizar. Em cada rua existem trechos de quadra, denominação dada aos pedaços de rua que começam e terminam na intersecção de duas ruas transversais. Para definir a área total e procurar a melhor diferenciação dos trechos produtivos foi necessário estabelecer um mapa inicial representando o setor oito. Dentro deste mapa foi introduzido um ponto médio em cada metade de trecho de quadra e nas intersecções de ruas. Todos os pontos introduzidos determinaram os pontos de parada, que contemplaram todos os endereços dentro de cada trecho de quadra. Ainda na segunda etapa, foram determinadas as coordenadas de cada um dos pontos que delimitaram os trechos de quadra totalizando 1691 pontos.

Preliminarmente a terceira etapa, foi estabelecida a matriz das distâncias através das distâncias entre dois pontos. Tanto as coordenadas quanto as distâncias foram determinadas com

o auxílio o software Autodesk® AutoCAD® Map 3D em um mapa georeferenciado em coordenadas UTM (Universal Transversa de Mercator).

Então, na terceira etapa, determinou-se 24 medianas, o que formou posteriormente 24 subsetores de atendimento. Foram escolhidas 24 medianas para que ao final do estudo fosse possível comparar as 24 rotas existentes atualmente com as que fossem geradas nessa pesquisa. Para isso utilizou-se o algoritmo de Teitz e Bart modificado por C_{ADP} [3], mencionado nessa pesquisa como método das regiões. Para obter a solução inicial o algoritmo dividiu o mapa do setor oito em 24 subsetores. Partindo disso, foi atribuído para cada subsetor, uma mediana inicial, totalizando 24 medianas. Essas foram designadas aos demais pontos do mapa através do algoritmo de designação de Gillett e Johnson adaptado [5] e [1], formando os subsetores de atendimento.

Definidos as subsetores, partiu-se para a quarta e última etapa onde foi realizado o roteamento dentro de cada subsetor, gerando 24 rotas ao todo. Para isso, utilizou-se a metaheurística dos Algoritmos Genéticos. Tais algoritmos flexíveis, podendo se adaptar com as restrições de cada problema.

2. Modelo Proposto para desenvolvimento do trabalho

Para a determinação dos subsetores a serem percorridos por cada leitorista, foi utilizado o algoritmo de Teitz e Bart modificado por C_{ADP} , a fim de preservar a qualidade de solução obtida pelo método clássico de Teitz e Bart [9] e reduzir o tempo computacional. Esta heurística baseia-se na substituição de vértices e tem como objetivo melhorar o valor da função objetivo a cada iteração, a partir de uma solução inicial. Tal heurística é fácil de implementar além de produzir bons resultados em problemas de pequeno porte. Este algoritmo baseia-se na heurística clássica de substituição de vértices combinada à exploração das características estruturais dos vértices do grafo que modelam os problemas de localização. Este algoritmo também pode ser denominado como Método das Regiões.

Seja um grafo $G(V, A)$ onde V é o conjunto de todos os vértices do grafo e A são os subconjuntos de arcos que ligam dois vértices de V . Sendo v_i os possíveis vértices medianas e v_j os demais vértices do grafo, determina-se a soma das menores distâncias de um vértice v_i a todos os demais vértices v_j . O resultado dessa soma originará o número de transmissão $\sigma(v_i)$.

$$\sigma(v_i) = \sum_{j=1}^n w_j d(v_i, v_j), v_i, v_j \in V, \text{ onde } v_i \text{ é um vértice qualquer de } V, v_j \text{ refere-se aos}$$

outros vértices de V , w_j refere-se ao peso atribuído ao vértice v_j e $d(v_i, v_j)$ é a menor distância do arco que liga v_i e v_j . Dessa forma, a solução inicial aponta para os vértices mais centrais e o algoritmo de Teitz e Bart modificado por C_{ADP} é descrito a seguir:

Passo 1: Divida a região R em p regiões, de modo que $R = R_1 \cup R_2 \cup \dots \cup R_n$.

Passo 2: Aplique o método das potências em cada uma das p regiões, determinando assim os autovetores dominantes V_1, V_2, \dots, V_p de cada uma das regiões.

Passo 3: Para cada vetor V_i , com $i = 1, \dots, p$, forme conjuntos V'_i com os vértices correspondentes às componentes de V_i ordenadas em ordem crescente.

Passo 4: Considere um percentual do total de elementos de V'_i . Para cada conjunto V'_i do passo 3, forme subconjuntos ordenados X_i com os j primeiros elementos de V'_i . Denote esses subconjuntos por: $X_i = \{x \in X_i, n = 1, \dots, j\}$

Passo 5: Forme o conjunto S , $S = \{x_{i1} \in X_i, i = 1, \dots, p\}$, denominado solução inicial do problema. Calcule o valor da Função Objetivo para o conjunto S .

Passo 6: Rotule os vértices de $x_{ik} \in (X_i - S)$, como não testados.

Passo 7: Para algum i , selecione o elemento $x_{ik} \in (X_i - S)$ não testado, mais próximo de $x_{in} \in S$ de acordo com a ordenação de X_i .

Passo 8: Compute a "redução" Δ_{nk}^i no número de transmissão, da substituição de x_{in} por x_{ik} , isto é, compute: $\Delta_{nk}^i = \sigma(S) - \sigma(S \cup \{x_{ik}\} - \{x_{in}\})$, com:

i) Se $\Delta_{nk}^i \leq 0$ rotule o vértice x_{ik} como testado e volte ao passo 7.

ii) Se $\Delta_{nk}^i > 0$ efetuar $S \leftarrow S \cup \{x_{ik}\} - \{x_{in}\}$, rotular x_{ik} como testado e volte ao passo 7.

Passo 9: Repetir os passos 7 e 8 até que todos os vértices dos subconjuntos X_i estejam rotulados como "testados". Este procedimento é referido como ciclo. Se, durante o último ciclo nenhuma substituição foi feita no passo 8(ii), vá ao passo 10. Caso contrário, rotule todos os vértices como "não testados" e retorne ao passo 7.

Passo 10: Pare. O conjunto S atual é o conjunto de p -medianas \bar{X}_p .

No algoritmo de Teitz e Bart modificado por C_{ADP} percebe-se que buscando em cada uma das regiões somente uma mediana, o vértice não-testado de maior centralidade que será analisado, será substituído apenas pelo vértice pertencente ao conjunto solução vigente que se encontra na mesma região que ele. As modificações propostas reduzem significativamente o número de iterações do algoritmo.

Após determinar as medianas é possível designar os pontos restantes, contidos na região, a cada mediana gerando subregiões (*clusters*) dentro de uma região maior. Isso pode ser obtido através do algoritmo de designação proposto por Gillet e Johnson, o qual designa os pontos restantes denominados pontos de parada, às medianas estabelecidas previamente. Este algoritmo e pode ser descrito da seguinte maneira:

Considere um grafo que contenha inicialmente i pontos, ainda sem designação. Sendo M_i pontos medianas, para cada ponto i tem-se $M1(i)$ como primeira mediana mais próxima de i e $M2(i)$ como segunda mediana mais próxima de i . Para cada ponto i será calculado a razão r_i entre $M1(i)$ e $M2(i)$, sendo: $r_i = \frac{M1(i)}{M2(i)}$. Após esta razão ser calculada para todos os i pontos, exceto os pontos medianas, estes são distribuídos em ordem crescente de designação respeitando os valores determinados por r_i . O processo de designação começará pelos pontos que obtiverem menor razão r_i , levando em consideração a capacidade de cada mediana. O cálculo da razão r_i é realizado para se perceber a "urgência" de cada ponto i no momento de designação, ou seja, quanto menor for o valor de r_i maior será a urgência.

A partir da designação dos pontos às medianas determina-se as regiões de atendimento através da Metaheurística do Algoritmos Genético (AG). Em sua implementação optou-se pela representação por caminho gerando aleatoriamente uma população inicial que contém um número pré - estabelecido de indivíduos. Segundo [7], não há necessidade de uma população muito numerosa para obter a melhor solução. Portanto neste trabalho optou-se em utilizar 100 indivíduos para cada população.

Após gerar aleatoriamente uma população inicial foi utilizado o método da roleta, para selecionar os indivíduos que fariam parte do cruzamento. O algoritmo para o método de seleção por roleta segue os seguintes passos:

Passo 1: Some a aptidão de todos os membros da população (Ar);

Passo 2: Gere um número aleatório: $0 < n \leq Ar$

Passo 3: Selecione o primeiro indivíduo da população cuja aptidão, somada à aptidão dos membros precedentes é maior ou igual a n , ou seja, $\sum A_i \geq n$.

Após a seleção dos indivíduos utilizou-se o operador de cruzamento HX. Segundo [8], este operador, comparado a outros operadores de cruzamento, é o que apresenta melhor desempenho na solução, devido ao uso trocas heurísticas. De acordo com [2] e [4], o valor da taxa de cruzamento está compreendido entre 0,4 e 0,95. No trabalho proposto, esta taxa foi fixada em 0,85 a cada geração.

O operador de mutação implementado nesse trabalho foi o de inversão, com uma probabilidade fixada, no valor de 0,01 para cada geração. Na literatura estudada encontrou-se os valores de mutação na faixa de 0,01 e 0,05. Uma baixa taxa de mutação previne que uma dada posição fique estagnada em um valor, além de possibilitar que se chegue a qualquer ponto do espaço de busca. Com uma taxa muito alta a busca se torna essencialmente aleatória. Nesse trabalho o critério de parada utilizado foi através do número de iterações, sendo de 25000 gerações para cada subsetor. Logo, concluiu-se as quatro etapas da metodologia proposta.

Os algoritmos foram implementados e desenvolvidos em linguagem "Object Pascal" (programação gráfica orientada a objetos) utilizando-se do software Delphi 2010. No entanto, foi desenvolvido um aplicativo denominado "Cobertura de Arcos" o qual oferece certa flexibilidade de ações, podendo ser acrescentado outras regiões e não apenas a região escolhida neste estudo.

Isso dá autonomia ao usuário na escolha das opções de cálculo para o problema das p-medianas e também os critérios de parada para o AG, na obtenção das rotas, entre outras opções.

3. Obtenção dos Resultados

De acordo com a descrição dos algoritmos, apresentada na seção anterior, determinou-se para este trabalho 24 medianas e consequentemente os 24 subsetores de atendimento dentro do setor oito através, respectivamente dos algoritmos de Teitz e Bart modificado por C_{ADP} e de Gillet e Johnson, conforme ilustra a Figura 1.

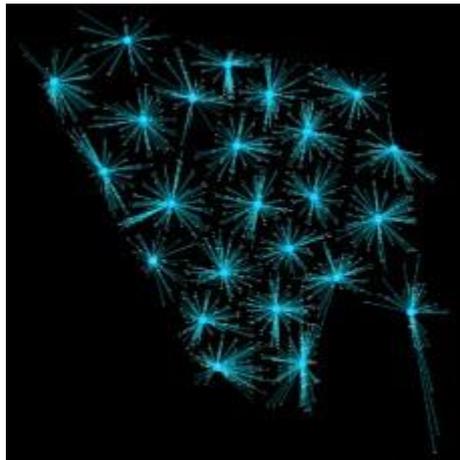


Figura 1 - Visualização da designação no setor oito

Após a obtenção dos subsetores de atendimento, foi estabelecido um percurso otimizado em cada um deles através do Algoritmo Genético, originando rotas de custo mínimo em distância percorrida. Para cada população cruzou-se 85% dos indivíduos, fez-se mutação de inversão simples em 1% e manteve-se 14% dos indivíduos. Para o critério de parada foi estabelecido o número máximo de 25000 iterações. O custo final foi calculado por meio das distâncias euclidianas entre os 1691 pontos cadastrados, sendo 1236 pontos médios a cada trecho de quadra e 455 pontos de interseções de ruas. Foram utilizados os pontos de interseções de rua para estabelecer o percurso de cada rota de maneira que se aproximasse do problema real. A Figura 2 apresenta uma das rotas referentes a um dos 24 subsetores gerados pelo aplicativo “Cobertura de Arcos”.

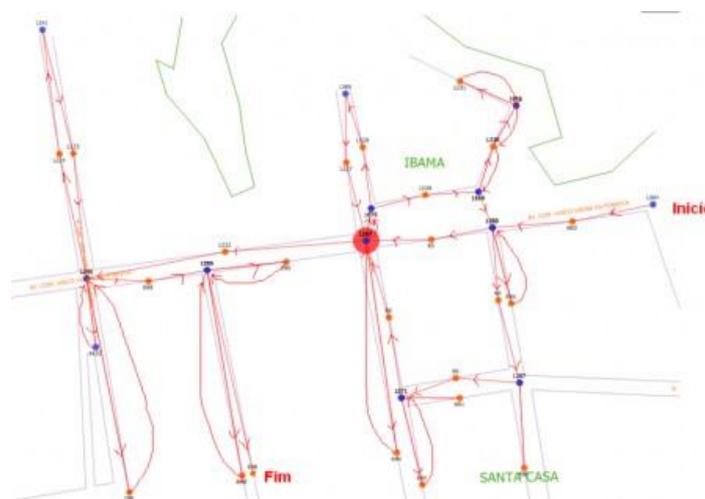


Figura 2 - Rota referente ao subsetor sete

Dessa forma, foram estabelecidas 24 novas rotas para atendimento no serviço de Leitura de Hidrômetros.

4. Conclusões

O objetivo deste trabalho é de propor um modelo para o Problema de Cobertura de Arcos aplicado aos serviços de leitura de hidrômetros de maneira que sejam determinadas rotas que tenham aproximadamente a mesma distância e percurso otimizado.

A utilização do algoritmo de Teitz e Bart modificado por C_{ADP} ofereceu uma solução satisfatória para obtenção das 24 medianas. Além disso, o algoritmo de Gillet e Johnson adaptado possibilitou uma distribuição igualitária dos demais pontos do mapa do setor oito de maneira que os 24 subsetores atingissem aproximadamente a mesma distância.

Em relação a distância total percorrida em todas as 24 novas rotas foi obtido um total de 113.260,10 metros. Esse valor comparado com as distância atuais de 115.000 metros, resulta em uma diferença de 1.740 metros. Essa diferença pode não ser tão elevada considerando apenas um setor, porém se o modelo proposto for aplicado para os dez setores existentes atualmente no município, acredita-se que o total de distância percorrida poderá diminuir consideravelmente.

Através do algoritmo genético percebeu-se um equilíbrio em relação a distância total percorrida em cada rota. Através desse, foi possível estabelecer rotas com percursos otimizados de maneira que não interferissem no serviço de leitura em que todos os endereços contidos no SCI fossem contemplados. Por esse motivo o AG mostrou-se eficiente.

Outro fator importante desta pesquisa foi o aplicativo, sendo desenvolvido a partir da implementação o qual apresenta uma interface gráfica, possibilitando ações do usuário na elaboração de mapas dos subsetores assim como relatórios para que os leituristas tenham um referencial ao deslocarem-se nos subsetores de atendimento. Desta forma, os leituristas terão acesso a mapas atualizados contendo os trajetos das ruas a serem percorridos, uma vez que o serviço atual não disponibiliza os mapas das rotas, como foi detectado na pesquisa realizada junto a empresa.

Diante dessas conclusões acredita-se que essa pesquisa contribuiu nos serviços de leitura de hidrômetros otimizando os percursos dentro de cada rota, resolvendo assim o problema de cobertura de arcos. Salienta-se a importância do desenvolvimento de trabalhos científicos que implicam na utilização de métodos heurísticos e suas aplicações em problemas reais.

Referências

- [1] Bodin; Assad e Ball, Routing and scheduling of vehicles and crew, the state of the art. Computers & Operations, v. 10, p. 69-211, 1983.
- [2] C, David, "Introduction to genetic algorithms for scientists and engineers". Singapore: World Scientific, 1999.
- [3] F. Carolina, "Teoria espectral aplicada a problemas de localização". Dissertação de Mestrado, PPGMC- Furg, 2012.
- [4] G. David. Genetic Algorithms in search, optimization and machine learning. Reading, MA: Addison-Wesley, 1989.
- [5] Golden; Magnanti e Nguyen, Q. Implementing vehicle routing algorithms. Networks, v. 7, p. 113-148, 1977.
- [6] Guimarães; Carvalho e Silva. Saneamento básico. 2007. Disponível em: <<http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/leonardo/downloads/APOSTILA/Apostila%20IT%20179/Cap%201.pdf>>. Acesso em: 20 abr. 2013.

- [7] S. Andreia, “Técnicas da pesquisa operacional aplicadas a um problema de cobertura de arcos”. Dissertação de Mestrado – PPGMNE – Ufpr, 2001.
- [8] T. Fernando, “Análise dos operadores de cruzamento do algoritmo genético aplicado ao problema do caixeiro viajante”. Dissertação de Mestrado – PPGMC, Furg, 2012.
- [9] Teitz e Bart, Heuristics methods for estimating the generalized vertex median of a weighted graph. *Operations Research*, v. 16, p. 955-961, 1968.