

Proposta de Planejamento em Etapas para Redes Secundárias de Telecomunicações

Hideson A. Silva¹, Luiz E. S. Oliveira², Alceu S. Britto Jr³

¹Companhia Paranaense de Energia (COPEL)

²Departamento de Informática – Universidade Federal do Paraná

³Departamento de Informática – Pontifícia Universidade Católica do Paraná
Curitiba – Paraná – Brasil

hideson@copel.com, lesoliveira@inf.ufpr.br, alceu@ppgia.pucpr.br

Abstract. *This paper presents an approach to planning the last mile access nodes of telecommunication secondary networks, aiming to find the best position, the amount of equipment and their best linkage. The proposed approach is to use georeferenced information as a reference to the construction of telecommunication network. This process is carried out within two stages: the first one selects the amount of equipment and their position and the second one determines the best connection path between the equipment and the customers.*

Resumo Este trabalho apresenta uma abordagem no planejamento dos pontos de acesso da última-milha das redes secundárias de telecomunicações, com o objetivo de encontrar a melhor localização, quantidade de equipamentos e a ligação entre eles. A proposta é utilizar informações georreferenciadas como uma referência na construção da rede secundária. O processo é realizado em duas etapas: a primeira seleciona a quantidade dos equipamentos e a segunda determina o melhor caminho de ligação entre os equipamentos e clientes.

1. Introdução

O planejamento de redes é também estudado como *Steiner-tree problem* (STP)[1] e há na computação evolucionária propostas para este problema. Por exemplo, utilizando algoritmos genéticos (AG) Souza et al [2] propõe a avaliação de redes secundárias de energia elétrica apresentando resultados com a simulação de um circuito com grande concentração de unidades consumidoras. Utilizando o algoritmo genético paralelo (uma variação do AG), Huy e Nghia[3] apresentam uma solução em que a *fitness* é avaliada com a heurística DNH (*Distance Network Heuristic*) e as soluções encontradas são comparadas com as metaheurísticas: PGS (*Parallel Genetic Algorithm for Steiner Tree Problem*), GRASP (*Greedy Randomized Adaptive Search Procedure*), EGA (*Enhanced Genetic Algorithm*), PGRASP (*Parallel Greedy Randomized Adaptive Search Procedure*) através de testes realizados com a base OR-Library[4].

No trabalho dos autores Ding e Ishii[5] é proposta uma solução para o problema *Dynamic Steiner tree* (DST), utilizando o *Online Genetic Algorithm* (OLGA), com o algoritmo *Prim* para a avaliação da *fitness*. Os testes realizados, com a base OR-Library, são comparados com os algoritmos DNH (*Distance Network Heuristics*), SPH (*Sortest Path Heuristic*) e ADH (*Average Distance Heuristic*).

Outro algoritmo utilizado é o *Discrete Particle Swarm Optimization* (DPSO), uma adaptação do enxame de partículas (*PSO-Particle Swarm Optimization*), e é utilizado por Zhong e Huang para uma comparação com o AG através de testes com a base OR-Library. Eles apresentam resultados melhores com o DPSO para solucionar o STP. Outra adaptação do algoritmo PSO é apresentada por Zanh et al [7] com o objetivo de acelerar o processamento com uma técnica em que apenas as soluções promissoras da partícula são avaliadas pela função de *fitness*.

Além do AG e do PSO utilizados nos trabalhos apresentados, outras heurísticas, tal como a Busca Tabu (BT), como é apresentada em Silva e Rodrigues[1] , Ribeiro e Souza[8] e Xu e Glover[9] , são utilizadas para solucionar o STP.

Os trabalhos, em geral, apresentam soluções para o STP considerando apenas a distância *Euclidiana* entre os nós, conforme a Figura 1(a). Mas as restrições físicas da geografia, tais como ruas, edifícios, postes de energia elétrica, etc, devem ser consideradas, como é apresentado na Figura 1(b).

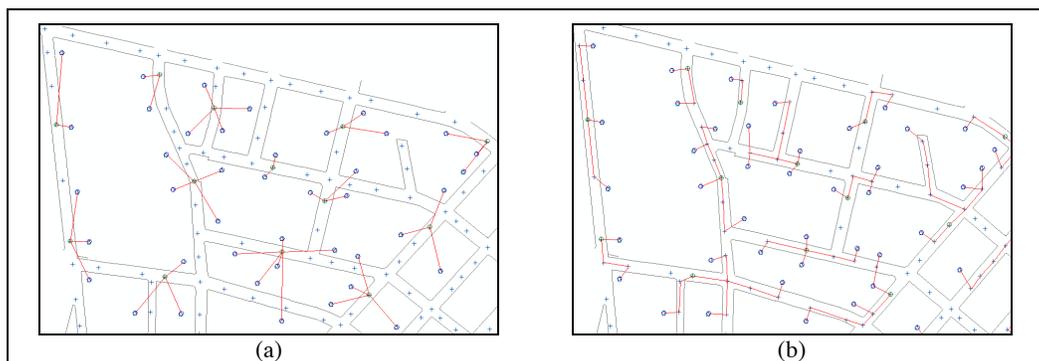


Figura 1. Construção de redes.

Para resolver esse problema, propomos uma solução baseada em duas etapas utilizando dados georreferenciados, a qual é demonstrada através de resultados experimentais com dois algoritmos de otimização: AG[10] e PSO[11] .

O artigo está organizado em: a seção dois apresenta o problema de planejamento da rede secundária; na seção três está o modelo matemático; a seção quatro descreve a solução proposta. E os resultados são apresentados e discutidos na seção cinco.

2. Planejamento de Redes de Telecomunicações

Para efeitos de planejamento a rede é dividida em rede primária, que mantém os equipamentos centrais, e a rede secundária que mantém a ligação com os clientes (última-milha). Em resumo um projeto deve fornecer as seguintes informações:

- Quantidade de equipamentos a serem instalados.
- Localização geográfica dos equipamentos.
- Definição da ligação do cliente ao equipamento.

A última-milha é construída com base na ligação de um nó de demanda (cliente) a um nó de acesso (equipamento) e os custos estão diretamente relacionados com a distância entre os nós e com o custo da construção dos nós de acesso. Portanto há uma

quantidade ideal de nós de acesso a ser utilizada para um determinado conjunto de demandas e esta quantidade e localização devem ser identificadas no planejamento.

Quando é um trabalho manual é complexo para relacionar todas as variáveis do problema, identificar cada possibilidade de rede, selecionar os pontos geográficos e a cada iteração deste processo reavaliar todas essas variáveis.

3. Modelo Matemático

A função objetivo (1) minimiza a somatória do custo de ligação entre os nós de acesso aos de demandas e somando o custo de ativação dos nós de acesso. E esta adição do custo de ativação auxilia encontrar a quantidade ideal de nós.

A restrição (2) representa que todo nó de demanda i deve ter uma conexão com um nó de acesso j e devem fazer parte da solução final. A variável x_{ij} tem o valor 1 nos casos em que é válida a ligação por esta conexão e 0 caso contrário.

A restrição (3) restringe a conexão entre o nó de demanda i com o nó de acesso j , obrigando que cada nó de demanda tenha apenas a ligação com um nó de acesso.

Variáveis do problema:

M : conjunto de nós de demanda.

N : conjunto de nós de acesso.

c_{ij} : custo de conexão da demanda i ao nó de acesso j .

b_j : custo da instalação do nó de acesso j .

Variáveis de decisão:

x_{ij} : identifica conexão da demanda i ao nó de acesso j quando assume o valor 1.

e_j : identifica se o nó de acesso j está ativado.

Função Objetivo:

$$\min \sum_{i \in M} \sum_{j \in N} c_{ij} x_{ij} + \sum_{j \in N} b_j e_j \quad (1)$$

Restrições:

$$\sum_{j \in N} x_{ij} = 1, \quad i \in M \quad (2)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\}, \quad i \in M, j \in N \quad (3)$$

4. Metodologia Aplicada

A abordagem proposta é a otimização do planejamento da última-milha da rede secundária de telecomunicações, utilizando como sugestão de locais para instalação dos equipamentos, as informações geográficas dos postes de distribuição de energia elétrica existentes na região. E com estes dados, mais as coordenadas dos clientes a serem atendidos, é proposto o processamento em duas etapas:

1o.) Utilizar um algoritmo de otimização, com o cálculo de *fitness* baseado na distância *Euclidiana*, para selecionar a quantidade e localização dos equipamentos.

2o.) Processar as soluções obtidas na primeira etapa, utilizando um algoritmo de menor caminho, para obter a solução com o melhor caminho entre os nós.

A busca de soluções utilizando apenas o cálculo de *fitness* através da distância *Euclidiana* não retorna soluções reais, por não considerar a geografia da região, mas tem um custo computacional menor, em comparação ao utilizar uma *fitness* apenas com um

algoritmo que calcule o melhor caminho a cada iteração. Neste trabalho é utilizado para cálculo do melhor caminho o algoritmo *Dijkstra*[12] .

Os dados são primeiramente processados no algoritmo evolucionário com a função de *fitness* baseada na distância *Euclidiana*, obtendo o conjunto de soluções com a quantidade e localização dos equipamentos de telecomunicações.

Na segunda etapa, processando a solução obtida anteriormente, o algoritmo *Dijkstra* fornece o melhor caminho com a real distância entre os nós de demanda com os nós de acesso. Isso otimiza o processo que no primeiro momento realiza um cálculo mais rápido (distância *Euclidiana*) e em seguida apenas as melhores soluções são processadas na definição do melhor caminho (algoritmo *Dijkstra*). As informações das coordenadas de instalação dos equipamentos, mais o caminho real percorrido desde o cliente até o equipamento selecionado, resolvem a questão de restrições geográficas.

O cromossomo no AG e a partícula no PSO são representados por vetores binários, nos quais cada posição do vetor representa um nó do problema, sendo cada nó uma indicação de equipamento com a coordenada geográfica. No exemplo da Figura 2 é apresentada uma representação binária com quatro nós de acesso selecionados e os respectivos nós de demanda atendidos.

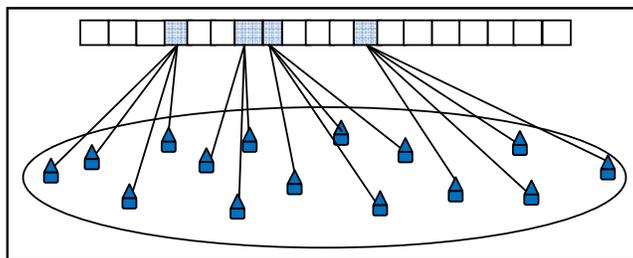


Figura 2. Representação simbólica de uma solução.

6. Testes e Resultados

Os testes foram executados com o AG, na ferramenta Matlab® 7.1 SP3 (*gatoool* versão 2.0) e com o PSO, implementado em linguagem C pelos respectivos autores do algoritmo. O equipamento utilizado foi um microcomputador equipado com processador *dual core* 1,83 Mhz, 2 Gb de memória RAM e sistema operacional Windows XP®.

Para exemplificar o planejamento pela proposta descrita é dada a seguinte situação hipotética, com duas bases de dados distintas, para a construção da rede:

Elaborar um projeto para construir uma rede que deverá atender os clientes da região informada os quais são identificados por suas coordenadas geográficas. E para possíveis locais de instalação dos equipamentos de telecomunicações são fornecidas as coordenadas dos postes de distribuição de energia elétrica.

1a.) Com 790 pontos de clientes e 1697 postes na região, totalizando 2487 nós para o problema com 2603 possibilidades de ligação entre eles (arestas).

2a.) Com 104 pontos de clientes e 581 postes na região, totalizando 685 nós para o problema com 796 possibilidades de ligação entre eles (arestas).

Como exemplo observa-se que a solução parcial da Figura 1(a), obtida com os cálculos pela distância *Euclidiana*, não é real, pois as ligações entre os nós não considera a geografia da região. Mas após a segunda etapa é apresentada na Figura 1(b) a solução final com o melhor caminho entre os nós considerando a geografia.

Os resultados são apresentados nas Tabela 1 e Tabela 2, e para cada algoritmo proposto há na coluna ‘Solução’ o custo encontrado, na coluna ‘Iteração’ a respectiva iteração em que foi selecionado e a coluna ‘*Dijkstra*’ apresenta as soluções após o processamento da segunda etapa. Observa-se que o custo com o algoritmo *Dijkstra* é maior que o realizado pela distância *Euclidiana*, pois considera a geografia da região.

Tabela 1. Resultados dos dados da base 1.

	A G		Dijkstra	P S O		Dijkstra
	Solução	Iteração		Solução	Iteração	
1	45.541	8.926	56.393	45.392	1.424	55.292
2	45.425	5.154	55.495	45.515	1.278	55.556
3	45.717	9.411	56.614	45.616	1.456	56.100
4	45.959	7.619	55.901	45.329	1.322	56.504
5	45.583	3.893	56.061	45.473	1.411	55.008
6	45.495	6.933	55.000	45.641	1.333	55.476
7	45.716	9.509	55.078	45.513	1.314	54.442
8	45.595	8.097	55.531	45.533	1.372	56.022
9	45.378	8.265	54.983	45.798	1.539	55.960
10	45.613	9.415	55.825	45.497	1.373	55.070

Tabela 2. Resultados dos dados da base 2.

	A G		Dijkstra	P S O		Dijkstra
	Solução	Iteração		Solução	Iteração	
1	10.668	9.909	13.691	10.934	890	14.185
2	10.600	7.162	13.336	10.614	560	13.376
3	10.518	9.560	13.154	10.657	702	13.592
4	10.699	8.986	13.377	10.783	955	13.869
5	10.621	9.216	13.811	10.795	718	14.636
6	10.565	6.834	14.178	10.741	734	13.306
7	10.597	8.262	14.639	10.640	941	14.024
8	10.570	9.423	13.550	10.805	602	13.788
9	10.521	9.868	13.386	10.585	782	13.914
10	10.448	9.040	13.835	10.755	780	15.017

*A unidade da solução depende da unidade utilizada na função objetivo (1), se é utilizada em valores monetários ou em metros.

Para executar os mesmos projetos propostos nos testes acima foi entrevistado um projetista que considerou em média uma semana de trabalho. Mas com a utilização da presente proposta é possível executar em um dia de trabalho. Sendo os valores das soluções obtidas manualmente similares aos encontrados pela metodologia proposta.

7. Conclusão

Este trabalho propõe um diferencial no desenvolvimento de projetos de redes utilizando ferramentas conhecidas na literatura e assim adicionar inteligência ao processo de planejamento. Com isto obtêm-se um custo menor de mão de obra especializada e proporciona um aumento de qualidade ao projeto.

Os custos encontrados pelos algoritmos de otimização foram semelhantes, apenas divergindo no número de iterações necessárias para convergir na melhor solução, concluindo que ambos os algoritmos são indicados como ferramentas para o planejamento de redes com esta abordagem proposta.

A utilização das ferramentas apresentadas com o processamento dos dados em duas etapas resultou em soluções factíveis de serem construídas, indicando não só os nós envolvidos, mas a sua ligação através dos cabos entre os postes de energia elétrica respeitando a geografia da região.

Como próximo trabalho pode ser melhorado o custo computacional com a implementação de “janelas de atuação”, em que o processamento de seleção de um nó de acesso seria restrito a uma região reduzida e próxima a ele, semelhante ao apresentado por Navarro e Rudnick[13] [14] para redes de energia elétrica. Outra proposta de estudo futuro é considerar a capacidade dos equipamentos, a flexibilidade

desejada para a rede e a dependência entre as redes primárias e redes secundárias e com isto otimizar simultaneamente a rede primária e secundária.

Agradecimentos

Agradecimento à Companhia Paranaense de Energia (COPEL), aos seus profissionais, em especial o Eng. Alceu Aroldo Schwingel.

Referências Bibliográficas

- [1] SILVA, Hideson A., RODRIGUES, Luiz Carlos de A. **Estudo da Otimização de Redes Baseada no Problema de Steiner**. Curitiba: UTFPr, 2004. 172p. Dissertação - Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, UTFPr, Curitiba, 2004.
- [2] SOUZA, Alexandre A. A. de, NEVES Jr, Flávio, LOPES, Heitor S. **Sistema de avaliação da rede secundária de distribuição utilizando Algoritmos Genéticos**. Espaço Energia, Curitiba-PR, nro 5, p. 34-41. Outubro/2006.
- [3] HUY, Nguyen V. NGHIA, Nguyen D. **Solving Graphical Steiner Tree Problem Using Parallel Genetic Algorithm**. IEEE International Conference on Research, Innovation and Vision for the Future, 2008. p. 29-35.
- [4] BEASLEY, J. E. OR-LIBRARY: distributing test problems, URL: <http://people.brunel.ac.uk/~mastjib/jeb/info.html>, acessado em jan/2010.
- [5] DING, Shan. ISHII, Naohiro. **An Online Genetic Algorithm for Dynamic Steiner Tree Problem**. IECON-Industrial Electronics Society, 2000. p.812-817 vol.2.
- [6] ZHONG, Wen-Liang. HUANG, Jian. ZHANG, Jun. **A Novel Particle Swarm Optimization for the Steiner Tree Problem in Graphs**. IEEE-Congress on Evolutionary Computation, 2008. p. 2460-2467.
- [7] ZHAN, Zhi-Hui. ZHANG, Jun. LI, Yun. CHUNG, Henry S. **Adaptative Particle Swarm Optimization**. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics. Vol. 39, no. 6, pp. 1362-1381, 2009.
- [8] RIBEIRO, Celso C. SOUZA, Maurício C. de. **Tabu Search for the Steiner Problem in Graphs**. Networks 36(2): p.138-146, 2000.
- [9] XU, Jiefeng. CHIU, Steve Y., GLOVER, Fred. **Tabu Search Heuristics for Designing a Steiner Tree Based Digital Line Network**. Universidade do Colorado, Colorado, Waltham. Relatório Técnico. 35p. 1995.
- [10] GOLDBERG, David. **Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning**. Addison-Wesley, 1989.
- [11] KENNEDY, J. EBERHART, R. **Particle swarm optimization**. Procs of the International Conference on Neural Networks, pp. 1942-1948, 1995.
- [12] CORMEN, Thomas H., LEISERSON, Charles E., RIVEST, Ronald L., STEIN, Clifford. **Algoritmos: teoria e prática**. Tradução da segunda edição. Rio de Janeiro: Campus, 2002. pp. 470-474.
- [13] NAVARRO, Alejandro, RUDNICK, Hugh. **Large-Scale Distribution Planning – Part I: Simultaneous Network and Transformer Optimization**. IEEE Transactions on Power Systems. Vol. 24, no. 2, pp. 741-751, 2009.
- [14] _____. **Large-Scale Distribution Planning – Part II: Macro-Optimization With Voronoi's Diagram And Tabu Search**. IEEE Transactions on Power Systems. Vol. 24, no. 2, pp. 752-758, 2009.