

USO DE ALGORITMO GENÉTICO PARA OTIMIZAÇÃO DO POSICIONAMENTO DE RACKS DE REDES DE COMPUTADORES

USE OF GENETIC ALGORITHM FOR OPTIMIZATION OF POSITIONING OF RACKS OF COMPUTER NETWORKS

Fernando Ulliam Caldas¹

Mestre em Pesquisa Operacional e Inteligência Computacional

Ítalo de Oliveira Matias²

Doutor em Sistemas Computacionais

Dalessandro Soares Vianna³

Doutor em Informática

Aldo Shimoya⁴

Doutor em Genética e Melhoramento

Resumo

O objetivo deste trabalho é localizar a posição dos *racks* de rede em uma edificação a fim de minimizar o custo da instalação de rede local de computadores. Como estudo de caso aplicou-se a solução a uma instalação de rede de um conjunto de laboratórios que possuem computadores em uma instituição de ensino. A localização de *racks* de rede em uma edificação se equivale a um problema de localização de facilidades e é tratado como um problema das p-medianas, e pode ser resolvido aplicando Algoritmo Genético (AG). Foi aplicado o AG com a técnica do elitismo, obtendo-se um resultado mais rápido e com menor custo. A configuração da instalação de rede obtida pelo AG foi satisfatória, em função de gerar uma redução de custo de 22,8% em relação a disposição ao qual a instituição pretende instalar.

¹ Instituto Federal Fluminense, Campos dos Goytacazes, RJ - fercal@iff.edu.br

² Universidade Candido Mendes, Campos dos Goytacazes, RJ - italo@ucam-campos.br

³ Universidade Federal Fluminense, Rio das Ostras, RJ - dalessandro@pq.cnpq.br

⁴ Universidade Candido Mendes, Campos dos Goytacazes, RJ – aldoshimoya@yahoo.com.br

Palavras-chave: Facilidade; Algoritmo Genético; P-mediana; Redes de Computadores.

ABSTRACT

The objective of this work is to locate the position of the racks network in a building in order to minimize the cost of installation of local area computer network. As a case study we applied the solution to a network installation of a set of labs that have computers in an educational institution. The location of racks network in a building is equivalent to a facility location problem and is treated as a p-median problem and can be solved by applying genetic algorithm (GA). GA was applied to the technique of elitism, obtaining a faster and lower cost result. The configuration of the network installation obtained by GA was satisfactory, according to generate a cost reduction of 22.8% in relation to provision the institution to which you want to install.

Keywords: Facility, Genetic Algorithm; P-median; Computer Networks.

1. INTRODUÇÃO

Em uma rede local de computadores *Local Área Network* (LAN), a comunicação dos mesmos não se dá de forma direta a um único equipamento distribuidor, mas por vários destes equipamentos que podem estar localizados em diversos *racks* (armário de telecomunicação).

É no *rack* que ficam os componentes responsáveis em interconectar os equipamentos, como computadores, impressoras de rede, pontos de acesso sem fio, telefones ip, câmeras ip entre outros equipamentos que possuam porta de comunicação compatível. Nele ficam alojados os *switches*, que são equipamentos de distribuição de rede, as barras de tomada fêmea de rede, chamada de *patch panel*, que conecta os cabos de rede do *rack* até as tomadas fêmeas da área de trabalho (cabeario horizontal). Também se concentra no *rack* uma barra de

tomada elétrica e os organizadores de cabo. Eles podem estar distribuídos em diversos locais dentro de uma edificação.

Em uma instalação de rede estruturada, o número de tomadas fêmeas, *patch cords* e *line cords* (cordões de conexão) têm uma quantidade fixa, de acordo com o número de equipamentos instalados na área de trabalho (*host*). Mas com relação ao posicionamento e o número dos equipamentos intermediários, *racks* com os seus acessórios, *switches*, *patch-panels*, barra de tomadas, organizadores de cabos e ao cabeamento horizontal e vertical (cabeamento que interconectam *racks*), o custo da instalação pode variar.

No Brasil, as instalações de cabeamento estruturado são regulamentadas pela norma técnica NBR 14565: 2012 (ABNT, 2012), que define a concepção e implementação de sistemas de cabeamento estruturado para edifícios comerciais e entre os edifícios em ambientes de *campus*. A maior parte das normas define os tipos de cabos, conectores, distâncias, arquiteturas de sistemas a cabo, cabo de terminação, padrões e características de desempenho, requisitos de instalação de cabos e métodos de controle de cabo instalado. As normas desenvolvidas nos Estados Unidos, em sua grande maioria pela Telecommunications Industries Association (TIA), são bastante populares no Brasil no segmento de cabeamento estruturado e talvez as mais observadas pelos profissionais do setor (MARIN, 2103). O padrão principal, ANSI/TIA-568-C.1 define os requisitos gerais; enquanto que ANSI/TIA-568-C.2 é destacado para componentes de sistemas equilibrados e cabo de par trançado; ANSI/TIA-568-C.3 é destinado a endereços de componentes de sistemas de cabos de fibra óptica; e ANSI/TIA-568-C.4, que abordou os componentes de cabeamento coaxial. As instalações de cabeamento de rede são categorizadas pelas normas em função da sua aplicabilidade e performance de funcionamento. As categorias mais utilizadas são a Cat5e e Cat6, onde a Cat6 possui uma performance superior ao da Cat5e. Os cabos, conectores, *patch panels*, diferem em função das categorias e o custo também.

Este trabalho tem como objetivo localizar a posição dos *racks* de equipamentos a fim de otimizar o custo de uma instalação de cabeamento estruturado, aplicando o problema das *p*-medianas por meio de Algoritmo Genético.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Problemas da *p*-medianas (PPM)

Em um problema de localização pretende-se estabelecer os locais onde serão sediadas facilidades (escolas, hospitais, fábricas, depósitos, etc.) para atender, da melhor maneira possível, um conjunto espacialmente distribuído de pontos de demanda. Dada a sua variedade e importância prática, os problemas de localização vêm sendo estudados por muitos pesquisadores, existindo uma extensa literatura a respeito (BRANDEAU; CHIU, 1989).

O problema de *p*-medianas é um problema clássico de localização. O objetivo é determinar os locais de *p* facilidades (denominadas medianas) em uma rede de *n* nós de modo a minimizar a soma das distâncias entre cada nó de demanda e a mediana mais próxima.

Os problemas de localização podem ser classificados como problemas de cobertura e problemas de localização de medianas. Em ambas, decisões são tomadas sobre onde localizar facilidades (*facility*) (ARAKAKI; LORENA, 2006). O problema de *p*-medianas é um problema clássico de localização que tem grande importância prática como, por exemplo, na localização de escolas (PIZZOLATO; SILVA, 1997; PIZZOLATO; BARCELOS; LORENA, 2002; BARCELOS; PIZZOLATO; LORENA, 2004) e de antenas de telecomunicação (LORENA; PEREIRA, 2002).

2.2 Exemplo de aplicação do PPM

Inicialmente considere, um conjunto de cinco posições em que uma delas deve ser escolhida para atender um determinado serviço. Considere, ainda, que cada posição demande uma quantidade unitária do referido serviço. As ligações entre as posições e as respectivas distâncias estão representadas na Figura 1. As

posições estão representadas pelos nós (I, II, III, IV e V) e as distâncias entre eles estão representadas pelo valor de cada aresta.

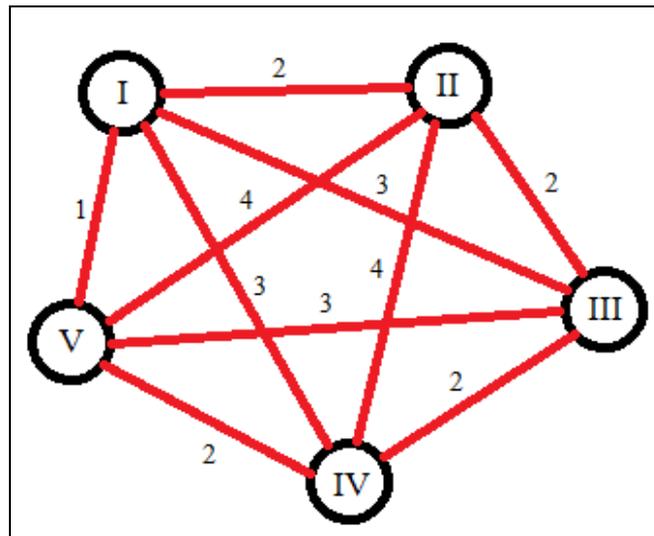


Figura 1. Representação do exemplo em Grafo.

A partir das informações contidas na Figura 1 cria-se uma matriz W

$$W = \begin{bmatrix} k_{1,1} & k_{1,2} & \cdots & k_{1,n} \\ k_{2,1} & k_{2,2} & \cdots & k_{2,n} \\ k_{3,1} & k_{3,2} & \cdots & k_{3,n} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ k_{m,1} & k_{m,2} & \cdots & k_{m,n} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 2 & 3 & 3 & 1 \\ 2 & 0 & 2 & 4 & 4 \\ 3 & 2 & 0 & 2 & 3 \\ 3 & 4 & 2 & 0 & 2 \\ 1 & 4 & 3 & 2 & 0 \end{bmatrix}$$

em que o elemento da n -ésima coluna da m -ésima linha representa o produto da demanda w_n da n -ésima posição pela distância d_{mn} entre tal posição e a m -ésima

posição. Assim, a soma dos elementos da m -ésima linha representa a soma ponderada das distâncias de todas as posições até a m -ésima posição. A posição a ser escolhida como mediana será aquela cuja linha correspondente em W apresentar a menor soma. No exemplo, onde as demandas são unitárias, o valor que gerou o menor custo, está relacionado ao serviço ser prestado pela posição I , cujo valor de custo é 9 (nove).

2.3. Uso dos Algoritmos Genéticos para solução do PPM

Algoritmos Genéticos (AG) são algoritmos evolucionários baseados na teoria da evolução das espécies de Charles Darwin. Foram propostos por John Holland na década de 1970 e, a partir de então, vêm sendo aplicados com sucesso a diversos problemas práticos de otimização (MAN; TANG; KWONG, 1996). Na figura 2 é apresentado o pseudocódigo da estrutura do evolution program (EP) proposto por Holland (1975). O pseudocódigo exposto pode ser considerado genérico para um AG, devido às muitas implementações encontradas na literatura e a variedade de operadores incorporados atualmente, porém serviu de contribuição para todos os sistemas baseados em evolução.

```
Procedimento EP  
01  $t \leftarrow 0$ ;  
02 Inicializar  $P(t)$ ;  
03 Avaliar  $P(t)$ ;  
04 enquanto (critério de parada não for alcançado) faça  
05  $t \leftarrow t + 1$ ;  
06 Selecciona  $P(t)$  de  $P(t - 1)$ ;  
07 Altera  $P(t)$ ;  
08 Avaliar  $P(t)$ ;  
09 fim enquanto;  
10 fim procedimento
```

Figura 2 - Estrutura de um *evolution program* (HOLLAND, 1975)

Nesta seção é feita uma revisão sobre os diversos tipos de Algoritmos Genéticos utilizados para solucionar o PPM.

Segundo Alp, Erkut e Drenzner (2003), a primeira publicação em que um AG foi aplicado ao PPM, foi devida a Hosage e Goodchild (1986). Neste trabalho, as soluções do problema foram codificadas como uma sequência de n dígitos binários denominados gene. Entretanto, como esta codificação não garante a seleção de p instalações em cada solução, é utilizada uma função de penalidade com o intuito de impor tal restrição.

De acordo com Arroyo, Marques e Cortes (2006), o PPM foi modelado para alocação de antenas de transmissão. Foi apresentada em Kratica et al. (2007) a instalação de redes de sistemas de transporte e telecomunicações, chamada de redes *hub*, usadas em transporte aéreo e terrestre, em sistemas de distribuição postal e em redes de computadores

Lorena e Furtado (2001) resolveram o problema utilizando um AG construtivo, sendo que este algoritmo difere do AG tradicional, por utilizar uma dinâmica populacional. Assim, são descritas duas funções de avaliação, obtendo-se novos problemas de *clustering* com a formulação de um problema bi-objetivo de otimização.

Correa et al. (2004) desenvolveram um AG para a versão capacitada do PPM. Neste trabalho, uma heurística foi introduzida como um novo operador genético. Este operador, chamado hipermutação, melhora a aptidão de uma certa percentagem de genes. Os autores apresentam resultados computacionais do algoritmo com e sem a heurística hipermutação, e comparam estes resultados com os resultados obtidos por uma busca tabu.

Fathali (2006) propôs um AG que inicia com uma solução viável e a cada iteração procura melhorá-la. Cada cromossomo corresponde a uma solução para o PPM, com genes em número igual ao de medianas, ou seja, cada gene corresponde ao índice de uma instalação selecionada. A aptidão de um cromossomo foi dada pelo valor da função objetivo da solução correspondente. O tamanho da população e

a população inicial são dois fatores eficazes na convergência do algoritmo. Para gerar novos membros, os pais são selecionados aleatoriamente.

Pullan (2008) introduziu um algoritmo populacional baseado em uma busca híbrida. O AG se baseia, principalmente, no corte e operadores de cruzamento, para gerar novos pontos de partida para uma nova busca híbrida. Segundo o autor, este algoritmo foi capaz de alcançar bons resultados para instâncias de grande porte do problema das p-Medianas.

Sousa Filho et al (2012), apresentaram uma arquitetura de software para sistemas de informação em um domínio de problemas de localização de facilidades. Esta arquitetura foi projetada com o intuito de flexibilizar o desenvolvimento de ferramentas deste domínio. Para validar a flexibilidade desta arquitetura, foram implementadas duas ferramentas que se utilizaram de três serviços distintos de otimização para os problemas de localização: Localização de Máxima Cobertura, P-mediana não capacitado e P-mediana. Na avaliação do seu artigo esta formatação foi de fundamental importância.

3. METODOLOGIA

Para o teste da solução do problema foi utilizada parte de uma planta baixa de uma instituição de ensino (Figura 3) que possui aproximadamente 33.500 m² de área construída, possuindo aproximadamente 2.000 equipamentos finais de rede na área de trabalho, pretendendo-se instalar em torno de 4.000 pontos de telecomunicações (pontos de lógica e telefonia IP). Este estudo de caso foi tratado como um problema de localização de facilidades (*facility*), no qual foi aplicado o problema das p-medias capacitado por meio de Algoritmo Genético. Utilizou-se o método proposto por Michalewick (1994) em que o AG foi aplicado sem e com o elitismo, que consiste em manter o melhor indivíduo da função objetivo, na iteração seguinte.

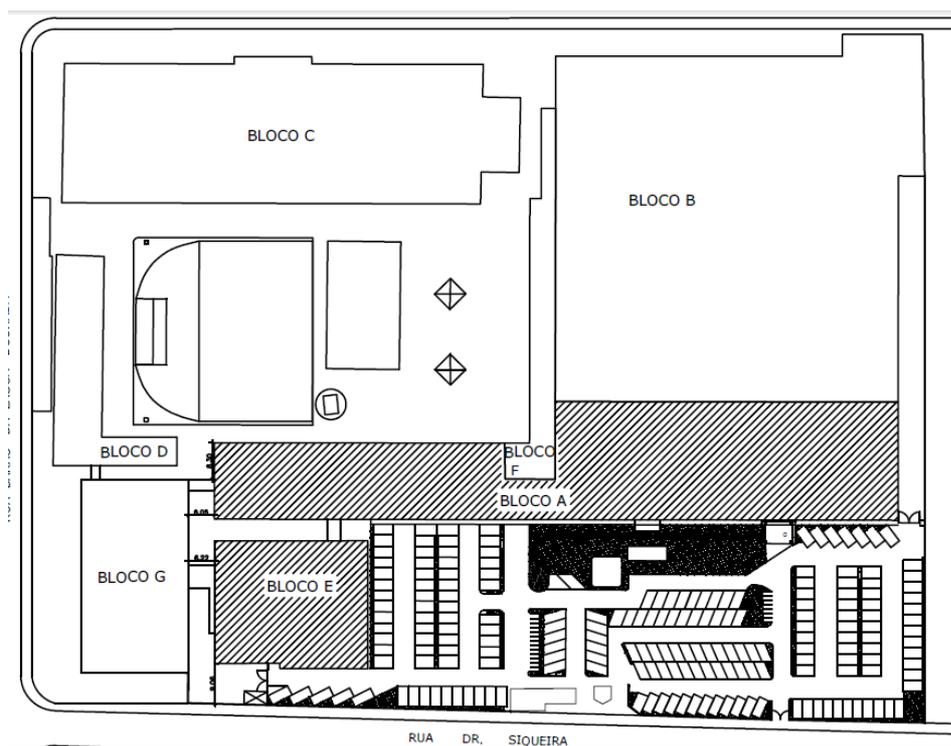


Figura 3. Planta de localização da instituição de ensino.

3.1. Definição do Problema

Fazendo uma analogia com o problema clássico das p-Mediana Capacitado (PPMC), o problema consiste em localizar as posições dos *racks*, medianas, conectados aos seus clientes, vértices, gerando o menor custo para a instalação (Figura 4). Os *racks* utilizados têm limite de capacidade de atendimento tornando-o

um PPMC. Para o PPMC, o total dos pontos (vértices) cobertos por uma mediana não deve ultrapassar a capacidade de atendimento da mesma (LORENA; FURTADO, 2001).

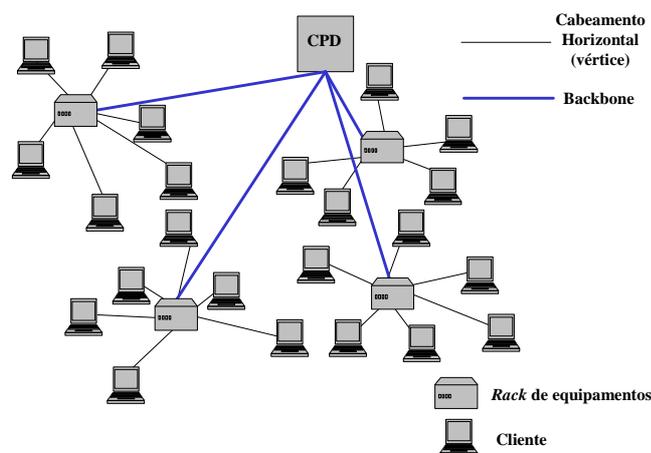


Figura 4. Problema de Localização de Racks

3.2. Modelagem Matemática

Para a modelagem matemática, inicialmente foram apresentados os parâmetros do problema, seguidos dos índices, das variáveis de decisão, finalizando com o modelo, com as restrições e a descrição de cada uma delas.

Parâmetros:

S – conjunto de salas (grupos)

C – conjunto de clientes

V_{Kit} – valor monetário do kit composto por um *switch*, um *patch panel* e dois organizadores de cabo.

V_{Cabo} – valor monetário do metro de cabo

V_{Rack} – valor monetário de um de *rack*

V_{Switch} – valor monetário de um *switch*

$V_{OrgCabo}$ – valor monetário do organizador de cabo

$V_{PatchPanel}$ – valor monetário do *patch panel*

w – valor grande o suficiente

$g_{i,k}$ informa se o cliente k pertence a sala i , se $g_{i,k} = 1$, pertence; se $g_{i,k} = 0$, não pertence;

$d_{i,k}$ representa a distância entre o *rack* da sala i e o cliente k ;

$d_{rack_{i,j}}$ representa a distância da sala i até a sala j ;

Índices:

i,j – índices de salas ($\in S$)

k – índice de clientes ($\in C$)

Variáveis de decisão:

y_i – variável de decisão binária que indica se o *rack* associado a sala i está em uso;

z_i – variável de decisão inteira que indica o número de kits associados ao *rack* da sala i ;

$x_{i,j}$ - variável de decisão binária que informa se a sala i está sendo atendida pelo *rack* da sala j ;

C_Cabo – variável de decisão linear que representa o custo gerado com compra de cabos;

C_Rack – variável de decisão linear que representa o custo gerado com o gabinete do *rack* com barra de tomadas.

C_Kit – variável de decisão linear que representa o custo gerado com *switches* de 24 portas, *patch panels* e organizadores de cabo.

Modelo:

$$\text{Min } (C_Cabo + C_rack + C_Kit) \quad (1)$$

Sujeito a

$$C_Cabo = V_Cabo * \left(\sum_i \sum_k (d_{i,k} * g_{i,k}) + \sum_i \sum_k \sum_j (x_{i,j} * d_{rack_{i,j}} * g_{i,k}) \right) \quad (2)$$

$$C_Rack = V_Rack * \sum_i y_i \quad (3)$$

$$C_Kit = V_Kit * \sum_i z_i \quad (4)$$

$$\sum_j x_{i,j} = 1 \quad \forall i \in S \quad (5)$$

$$z_i \leq w * y_i \quad \forall i \in S \quad (6)$$

$$\sum_i \left(x_{i,j} * \sum_k g_{i,k} \right) \leq 24 * z_j \quad \forall j \in S \quad (7)$$

$$x_{i,j} \leq y_j \quad \forall i, j \in S \quad (8)$$

Sendo que:

$$V_Kit = V_switch + V_PatchPanel + 2 * V_OrgCabo$$

No qual

- 1 – Função objetivo que visa minimizar o gasto com cabos e acessórios e equipamentos de rede.
- 2 – Gasto com cabos - a primeira parcela representa o gasto com cabo do cliente até a saída da sala; a segunda parcela representa o gasto com cabo da saída da sala até o *rack* que o atende.
- 3 – Gasto com *racks* – contabiliza o gasto total com os gabinetes de *rack* na instalação;
- 4 – Gasto com kits – contabiliza o gasto total com *switches*, *patch-panels* e organizadores de cabo que se encontram instalados nos *racks*.
- 5 – Restrição, que todos os pontos de uma sala só podem ser atendidos por um único *rack*.
- 6 – Só deve haver kit se o *rack* estiver em uso
- 7 – A capacidade de clientes em cada *rack* não deve ultrapassar a capacidade máxima que seus *switches* limitam.
- 8 – Os pontos de uma sala só podem ser atendidos por *racks* que foram escolhidos como mediana.

Neste trabalho, vamos nos ater em redes do tipo LAN, no cabeamento horizontal, área de trabalho e nos *racks* de telecomunicações, desconsiderando o sistema de voz analógico, pois o mesmo não se aplica com relação aos equipamentos distribuidores de redes (*switches*).

O teste foi executado em apenas uma parte da planta baixa, correspondente ao nível térreo do bloco E (Figura 5), onde constam 13 laboratórios com 261 pontos

de redes instalados. Cada laboratório possui uma única saída para os cabos de rede, que foi considerada como uma candidata a ser um ponto de localização de *rack*.

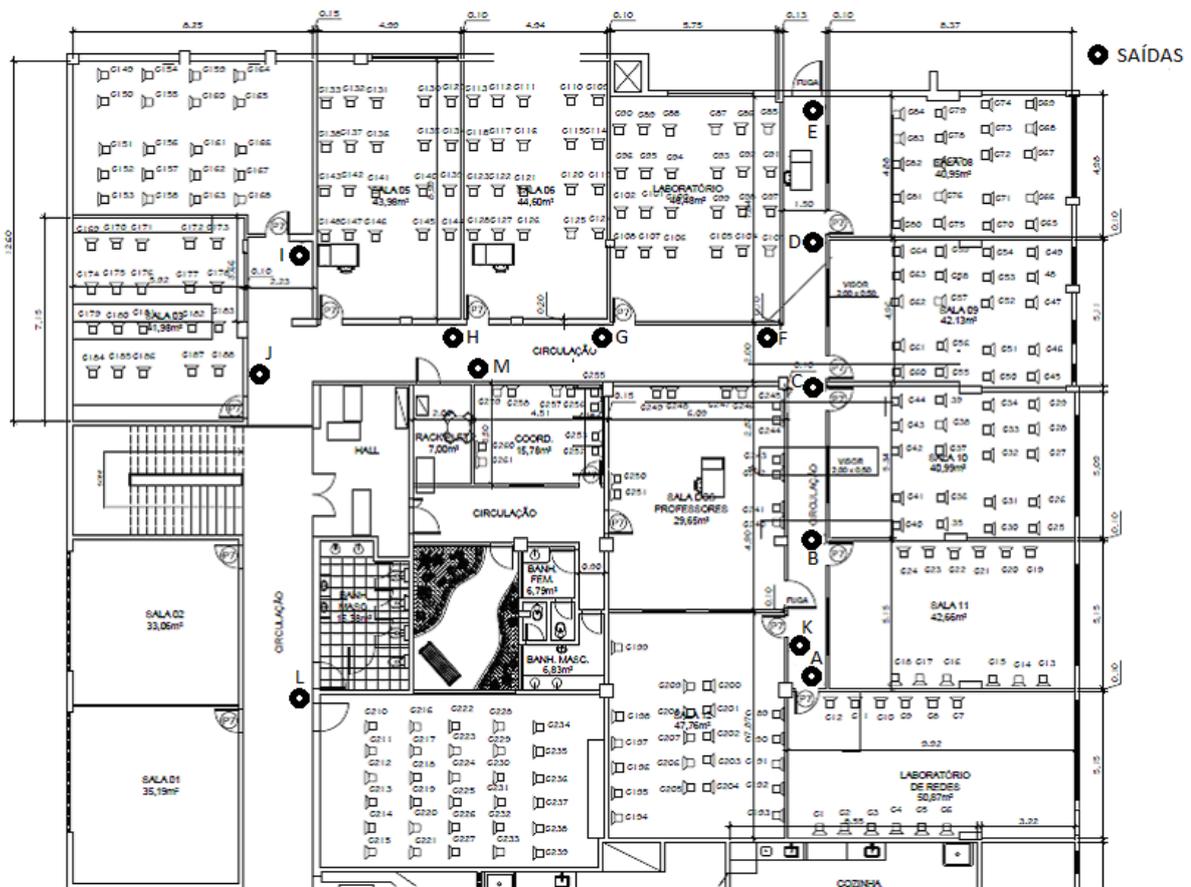


Figura 5. Planta baixa do nível térreo do bloco E, com a localização das salas contendo os computadores e os pontos de saída.

Foi criada uma tabela onde se encontram as distâncias entre as saídas das salas, onde cada saída foi considerada como uma candidata a ser um ponto de localização de *rack*.

Um cromossomo corresponde a uma solução de instalação de rede que tem um determinado custo (*fitness*), correspondente a uma quantidade de *racks* e seus acessórios, *patch panel*, cabos e *switches* de rede (Figura 6). Cada gene corresponde a um *rack* instalado numa saída de cabos de uma determinada sala, no corredor da edificação. Para o cálculo do custo de cada cromossomo, é necessário

alocar os pontos de cada sala aos *racks* que foram determinados por este. Para a alocação dos pontos aos *racks*, primeiramente, alocam-se os pontos das salas que possui a sua saída de cabos, um *rack* atribuído. Após esta alocação, é verificada a menor distância entre saídas cujos pontos de rede não foram alocados. Se forem atendidas as restrições, a alocação dos pontos é realizada ao *rack* escolhido, caso contrário esta alocação será penalizada, alterando o valor da distância desta solução para um valor elevado. O algoritmo volta a procurar a menor distância, e assim sucessivamente até todos os pontos serem alocados. Foram consideradas as seguintes restrições: cabo de par trançado categoria 5e, 90 metros; pontos pertencentes a uma mesma sala só podem ser alocados em um único *rack*; existe uma quantidade limite de pontos por *rack*, que é um dado de entrada no programa, sendo este múltiplo de 24, tendo como referência a quantidade de *switches* de 24 portas por *rack*.

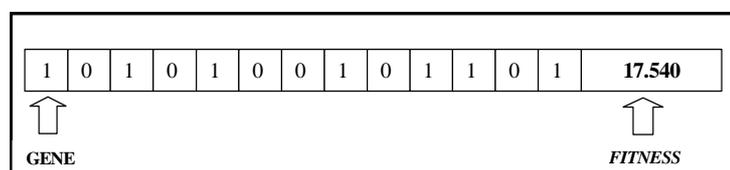


Figura 6. Cromossomo correspondente a uma solução de instalação de rede.

Na Figura 7 é apresentado o fluxograma referente ao modelo do AG proposto.

A rotina do AG seguiu o seguinte procedimento:

1. Inicialmente foi gerada uma população de cromossomos com 13 genes e 40 indivíduos aleatoriamente;
2. Foi calculado o custo (*fitness*) da instalação para cada indivíduo, armazenando o melhor indivíduo da população;
3. Foi realizada uma seleção, pelo método da roleta, criando uma população com indivíduos de melhor aptidão;
4. Aplicou-se, *crossover* de 1 corte com posição aleatória (Figura 8) em 60% dos indivíduos;

5. Aplicou-se mutação de posição aleatória de 1 gene por cromossomo (Figura 9) em 4% dos indivíduos;

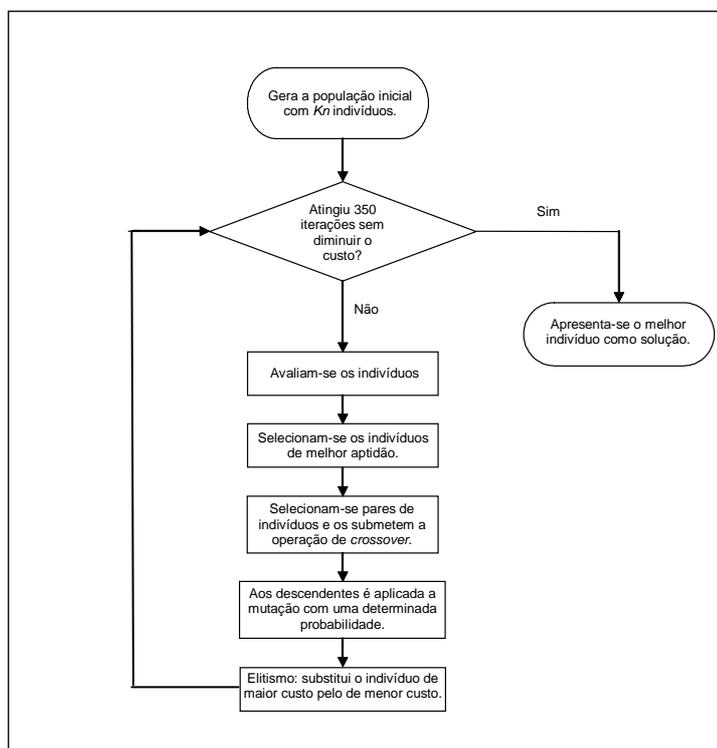


Figura 7. Fluxograma do modelo proposto.

6. A cada iteração é aplicado o elitismo, o pior indivíduo é trocado pelo indivíduo de melhor *fitness*

7. Retornar ao passo 2, enquanto for encontrado melhoria no valor do custo em 350 iterações.

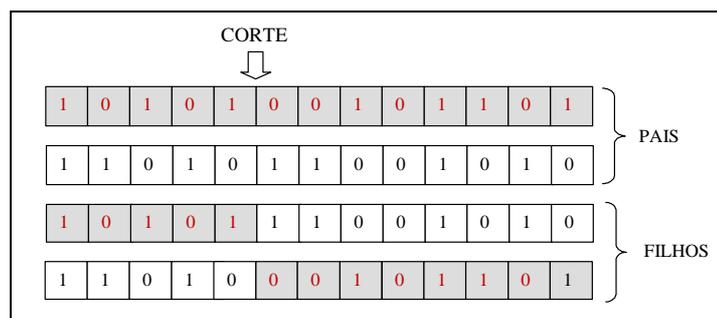


Figura 8. Crossover de 1 corte.

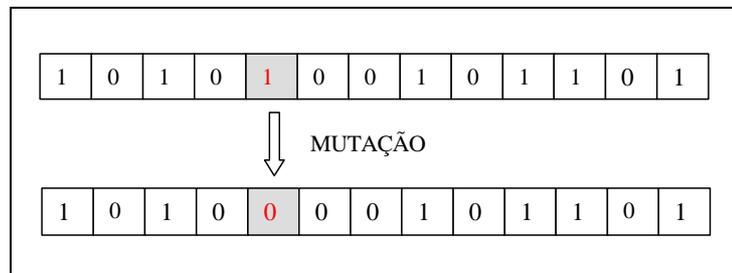


Figura 9. Mutação de 1 gene.

Para gerar o custo em valor monetário, foi informado no aplicativo, o valor unitário em reais (R\$) dos componentes que influenciam diretamente no cálculo do custo (Tabela 1).

Tabela 1. Custo individual dos componentes que interferem no custo, referente a outubro de 2013.

Componentes	Valor em R\$
Rack de 8 u's	450,00
Switch Gerenciável Gigabit 3com 2928 24 Pt Giga	800,00
Patch Panel de 24 portar Cat 5e Furukawa	207,00
Organizador de cabo	15,00
Metro do cabo Cat 5e Furukawa	0,90

Para a aplicação do AG, foi desenvolvido um aplicativo em linguagem “C” em um *open-source* multi-plataforma IDE (*Integrated Development Environment*) chamado *Code Blocks*.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram aplicados dois tipos de AG um sem elitismo e outro com elitismo. Para o aplicativo com elitismo, foi observado que o resultado ótimo é atingido com menos iterações em relação ao aplicativo sem o elitismo. No caso do algoritmo com elitismo, a cada iteração o indivíduo de melhor *fitness* é inserido na população.

Na Figura 10 destaca-se a média do menor valor de 30 sementes diferentes a cada iteração ao longo de 634 iterações, para o aplicativo com e sem elitismo,

correspondente a uma instalação Cat5e. Pode-se observar que:

- para a solução com elitismo a declividade da curva é maior, atingindo o valor ótimo com menos iterações em relação à solução sem o elitismo;
- no decorrer das gerações a solução com elitismo chega a um valor ótimo melhor em relação à solução sem elitismo
- entre as iterações centésima e trecentésima ocorre uma diminuição na evolução da função objetivo, tendendo a um mínimo local.

Isso demonstra que o AG desenvolvido com elitismo evolui na busca por uma solução de qualidade para o problema, sem estagnar, claramente é mostrado que, o AG com elitismo encontra a solução mais rápido que o AG sem elitismo.

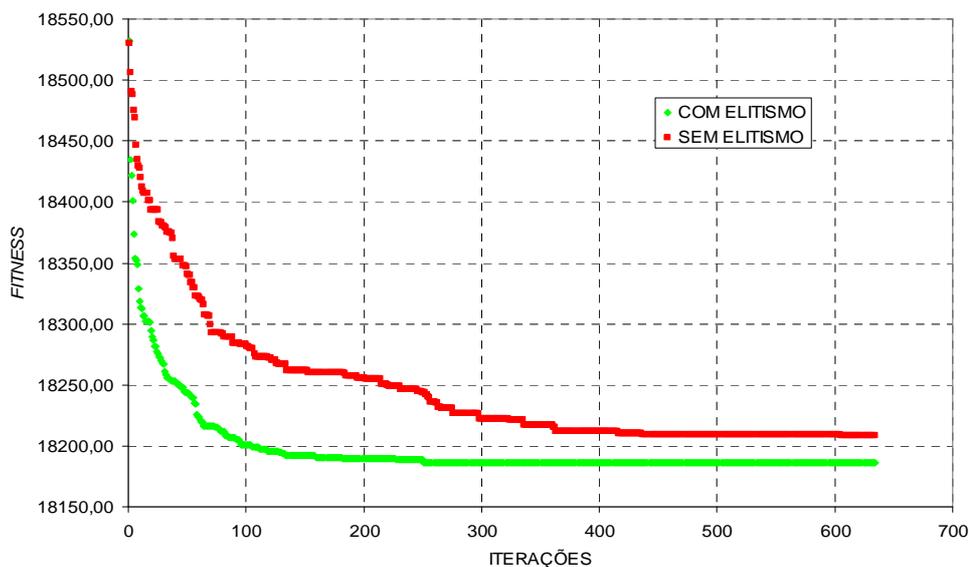


Figura 10. Evolução da média de 30 sementes do melhor indivíduo com elitismo e sem elitismo, de uma população de 40 indivíduos ao longo de 634 iterações.

O cromossomo (Figura 11) foi o que apresentou o melhor resultado com o custo aproximado de R\$18.186,22 após as 1000 iterações, que resultou num quantitativo de componentes de 4 *racks*, 4 barras de tomadas, 12 *switches*, 12 *patch panels*, 24 organizadores de cabos e 4.242,24 metros de cabo.

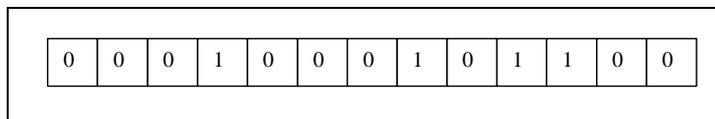


Figura 11. Cromossomo que apresentou o melhor resultado.

Foi executado pelo programa o custo considerando *racks* instalados em todas as salas. Esta configuração corresponde a um cromossomo com todos os genes com valor 1 (um) (Figura 12), que resultou num custo de R\$23.560,25. Apenas na sala que possui a saída “M” foram necessários 2 *switches*, pois a mesma tem uma demanda de 30 pontos internos. O gerou um quantitativo de 13 *racks*, 13 barras de tomadas, 14 *patch panels*, 14 *switches*, 28 organizadores de cabo e 3.108 metros de cabo.

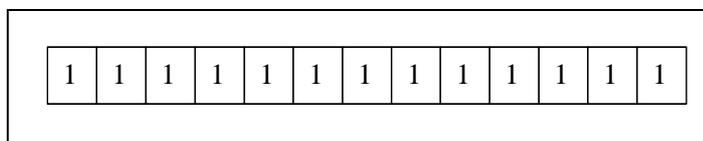


Figura 12. Representação cromossômica que corresponde a 1 *rack* em cada sala.

Comparando a instalação atual da escola com a solução encontrada pelo AG, observa-se um ganho monetário de 22,8% que corresponde a uma diferença de R\$5.375,57.

5. CONCLUSÕES

A alocação de *racks* aplicando AG foi considerada eficiente para o teste, considerando-se 261 pontos, proporcionalmente, se aplicado para toda instalação, em torno de 4000 pontos, gerará uma economia de um valor considerável.

Com a utilização do AG aplicando o elitismo chegou-se a um resultado ótimo e mais rápido em relação AG sem aplicação do elitismo.

Observa-se que sem o elitismo o valor da função objetivo é de maior custo em relação ao do com elitismo.

Para trabalhos futuros, pode-se utilizar o aplicativo para um número maior de pontos de rede. Utilizar o aplicativo do AG, modificando as características da rede, como uma instalação com outras características como cabo de par trançado cat6 ou fibras ópticas.

REFERÊNCIAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT. **Cabeamento estruturado para edifícios comerciais e data centers**. NBR 14565:2012. 2012.
- ALP, O.; ERKUT, E.; DRENZNER, D. An efficient genetic algorithm for the p-median problem. **Annals of Operations Research**, v. 122, p 21-42, 2003.
- ARAKAKI, Reinaldo Gen Ichiro; LORENA, Luiz Antonio Nogueira. Uma heurística de localização-alocação (HLA) para problemas de localização de facilidades. **Produção**. [online]. v. 16, n. 2, p. 319-328, 2006.
- ARROYO, J. E. C.; MARQUES, T. B.; CORTES, J. M. R. Um algoritmo genético para o problema de alocação de antenas de transmissão. **Anais do XXVI Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, 2006.
- BARCELOS, F. B.; PIZZOLATO, N. D.; LORENA, L. A. N. Localização de escolas do ensino fundamental com modelos capacitado e não-capacitado: caso de Vitória/ES. **Pesquisa Operacional**, v. 24, n.1, p. 133-149, Janeiro a Abril de 2004.
- BRANDEAU, M.L.; CHIU, S.S. An Overview of Representative Problems in Location Research. **Management Science**, v. 35, n. 6, p. 645-674, 1989.
- CORREA, E. S.; STEINER, M. T. A.; FREITAS, A. A.; CARNIERI, C. A genetic algorithm for solving a capacitated p-median problem. **Numerical Algorithms**, v. 35, p. 373-388, 2004.
- FATHALI, J. A genetic algorithm for the p-median problem with pos/neg weights. **Applied Mathematics and Computation**, v. 183, p. 1071-1083, 2006.
- HOLLAND, J. H. **Adaptation in natural and artificial systems**: An introductory analysis with applications to biology, control, and artificial intelligence. Oxford, England: U Michigan Press, 1975.
- HOSAGE, C. M.; GOODCHILD, M. F. Discrete space location-allocation solutions from genetic algorithms. **Annals of Operational Research**, v. 6, p. 35-46, 1986.
- KRATICA, J.; STANIMIROVIĆ, Z.; TOSIĆ, D.; FILIPOVIĆ, V. Two genetic algorithms for solving the uncapacitated single allocation p-hub median problem. **European Journal of Operational Research**, v. 182, p. 15-28, 2007.
- LORENA, L.A.N.; FURTADO, J.C. Constructive genetic algorithm for clustering problems. **Evolutionary Computation**, v. 9, p. 309-328, 2001.
- LORENA, L. A. N.; PEREIRA, M. A. A lagrangean/surrogate heuristic for the maximal

covering location problem using Hillsman's edition. **International Journal of Industrial Engineering**, v. 9, n. 1, p. 57-67, 2002.

MAN, K.F.; TANG, K.S.; KWONG, S. Genetic algorithms: concepts and applications. **IEEE Transactions on Industrial Electronics**, v. 43, p. 519–534, 1996.

MARIN, P. S. Atualização de normas e desenvolvimentos em cabeamento estruturado. **Anais do congresso NETCOM 2013**, São Paulo, SP, 2013.

MICHALEWICZ, Z. **Genetic Algorithms + Data Structures = Evolution Programs**. 3.ed. Springer-Verlag, 1994.

PIZZOLATO, N.D.; BARCELOS, F.B.; LORENA; L.A.N. **School Location Methodology in Urban Areas of Developing Countries**. IFORS2002 - The sixteenth triennial conference of the International Federation of Operational Research Societies. 2002.

PIZZOLATO, N. D.; SILVA, H. B. F. da. The Location of Public Schools: Evaluation of Practical Experiences. **International Transactions in Operations Research**, v. 4, n. 1, p. 13-22., 1997.

PULLAN, W. A population based hybrid metaheuristic for the p-median problem. **Proceedings of the IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC 2008)**, p. 75-82, 2008.

SOUSA FILHO, G. F.; PESSOA, B. J. S.; DIAS JR., J. J. L.; CABRAL, L. dos A. F. Uma arquitetura e ferramentas para problemas de localização de facilidades no setor público. In: VIII Simpósio Brasileiro de Sistemas de Informação. **Anais ...** São Paulo, p. 619-630, 2012.