

## **Simulação da Configuração de uma Rede de Sensores Sem Fio para Cobertura de uma Região**

### **RESUMO**

Este trabalho apresenta uma simulação da configuração de uma Rede de Sensores Sem Fio para cobertura de uma região. Para isto, fará uso de uma heurística baseada em Algoritmos Genéticos. Esta heurística, considera a disponibilidade de vários tipos de sensores, cada um com um custo e um raio de atuação, como também fazendo uso de mapas eletrônicos via WEB para especificação de uma área pelo usuário para monitoramento, tem como objetivo posicionar estes sensores cobrindo toda a área especificada e com o menor custo possível. Neste trabalho, também são realizadas simulações computacionais que apresentam o funcionamento da técnica proposta e os resultados obtidos.

**PALAVARAS CHAVE.** Simulação; Rede de Sensores sem Fio; Cobertura de uma Região.

**Área principal:** PO em Telecomunicações e Sistemas de Informações, Simulação, Metaheurísticas.

### **ABSTRACT**

This work presents a simulation to configure a Wireless Sensor Networks to cover a region. For this, it will use an heuristic based in Genetic Algorithms. This heuristics, considering the disponibility of several types sensors, each one with a cost and a coverage radius, as well using electronic maps through WEB to specification of an area by the user to monitor, has as a goal to position this sensors covering the whole specified area and with lowest possible cost. In this work, also are made computational simulations that present the proposed method working and obtained results.

**KEYWORDS.** Simulation; Wireless Sensor Network; Cover of a Region.

**Main area:** OR in Telecommunications and Information System, Simulation, Metaheuristics.

## 1. Introdução

O grande avanço da tecnologia juntamente com a crescente necessidade das pessoas se manterem informadas e no controle da situação tem incentivado e motivado a cada dia o crescimento das Redes de Sensores Sem Fio (RSSF). Existem diversas situações e aplicações de monitoramento, rastreamento, coordenação e processamento em diversos contextos onde a presença do ser humano é custosa, inviável e até insalubre, tais como: militar, industrial, ambiental, tráfego, engenharia dentre outras. Uma alternativa viável que vem sendo considerada nestes casos é a utilização de RSSF.

Um dos problemas na utilização de RSSF em diversas aplicações é a determinação de onde posicionar diversos tipos de sensores (cada um com um custo e um raio de sensoriamento) de modo a cobrir toda a região especificada com o menor custo possível. Dada a complexidade computacional deste problema que é NP-Difícil (Nakamura, 2003), faz-se interessante o uso de heurísticas para a obtenção de boas soluções em tempo computacional aceitável.

Vindo de encontro a esta necessidade, este trabalho apresenta uma proposta de simulação fazendo uso de uma heurística baseada em Algoritmos Genéticos (AG) para configuração de uma RSSF para cobertura (monitoramento) de uma região de interesse com o menor custo possível. De modo a tornar a interface do sistema com o usuário mais amigável, foi utilizada a API do Google Maps, possibilitando o uso de mapas eletrônicos, tanto para a determinação da área a ser monitorada quanto para a visualização da solução fornecida (escolha e posicionamento dos sensores) pela heurística.

O restante deste trabalho está organizado como se segue. Na segunda seção tem-se a descrição do problema abordado como também sobre RSSF. Já na terceira e quarta seção tem-se respectivamente os detalhes da heurística implementada como as simulações computacionais realizadas. Finalizando, na quinta seção têm-se as conclusões a respeito do trabalho desenvolvido e trabalhos futuros que podem ser realizados.

## 2. Descrição do Problema

As RSSF têm como objetivo básico monitorar uma determinada área/ambiente especificada pela utilização de sensores sem fio de modo a atender todos os pontos de demanda (fontes onde são extraídos dados) para posterior análise e tomada de decisão.

Várias aplicações voltadas para a área de monitoramento podem ser implantadas utilizando esta tecnologia (RSSF) (Estrin et al., 2001). Isso se deve à necessidade de se monitorar ambientes onde a presença humana não é constante (ou até mesmo inadequada), onde a passagem de cabos é inviável e inexistem fontes de energia, devido a questões de acessibilidade, custos e riscos (Tilak et al., 2002). Exemplos de tais aplicações são: monitoramento de área florestal inóspita, vigilância de uma região militar, monitorar áreas de desastres, sensoriamento de área contaminada química e/ou biologicamente entre outros (Akyildiz, Sankarasubramaniam and Cayirci, 2002).

### 2.1. Configuração de uma RSSF

As principais funcionalidades de uma RSSF podem ser separadas em cinco grupos de atividades, como o proposto por Loureiro et al. (2003) e mostrado na Figura 1: configuração, manutenção sensoriamento, processamento e comunicação. Estas fases podem ser executadas simultaneamente ou pode ser ativadas durante todo o tempo de vida da rede. Cada uma dessas fases tem uma função crucial para a sobrevivência e o funcionamento da rede. A Figura 2 mostra como fazer o estabelecimento de uma RSSF.

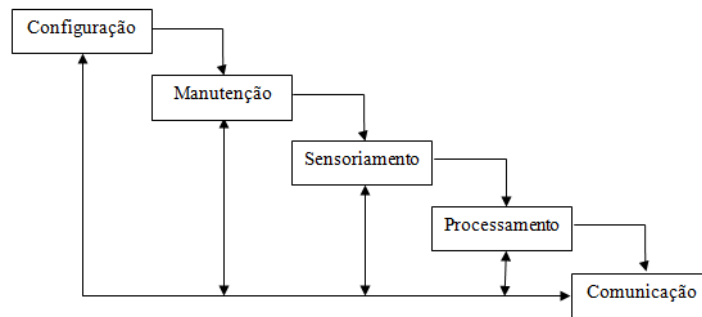


Figura 1. Ciclo de vida de uma RSSF [Loureiro et al., 2003].

Como este trabalho trata da fase de configuração, esta vai ser a única a ser detalhada. Maiores detalhes das outras fases podem ser vistos em Loureiro et al. (2003) e Nakamura (2003). A fase de configuração da rede é onde os nós são estabelecidos na área que se pretende monitorar (podendo ser nós homogêneos ou heterogêneos). Essa configuração procura fazer com que a rede atenda todos os pontos de demanda do ambiente monitorado. Para garantir total cobertura dos pontos de demanda, pode ocorrer de mais de um sensor monitorar a mesma área.

Aqui, os pontos de demanda coincidirão como os locais de possível localização de um sensor. Como diferencial deste trabalho em relação aos outros no tocante à fase de configuração da RSSF é que nos trabalhos anteriores faz-se uso de apenas um tipo de sensor e os possíveis locais para posicionamento são conhecidos. Já neste trabalho, faz-se uso de diversos tipos de sensores e as localizações dos mesmos devem ser determinadas pela heurística proposta.

Os possíveis locais de posicionamento são determinadas da maneira a seguir. Calcula-se o retângulo que envolve a área a ser mapeada, obtendo-se os menores (*minlat* e *minlong*) e os maiores (*maxlat* e *maxlong*) valores para as coordenadas de latitude e longitude da área determinada. Considerando-se o tamanho da discretização (espaço mínimo entre 2 possíveis locais de posicionamento) em Km (*intervalo*), determina-se os possíveis locais para posicionamento conforme o algoritmo da Figura 3.

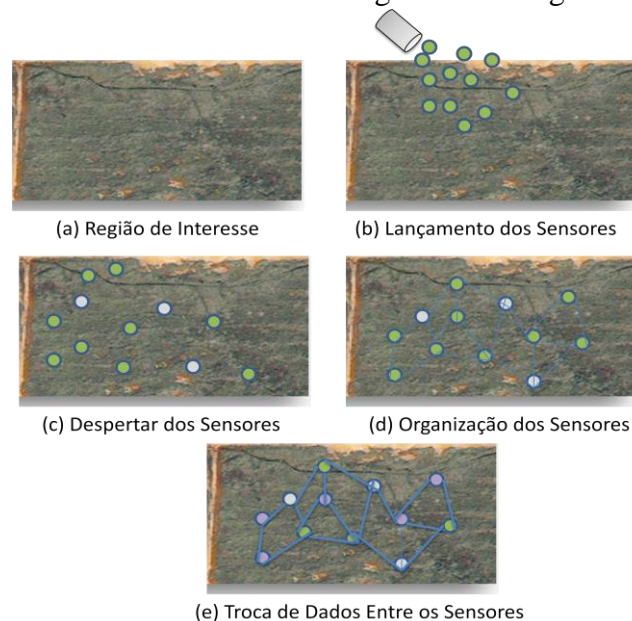


Figura 2. Estabelecimento da RSSF.

```

for(i=minlat; i<=maxlat; i=i+intervalo){
  for(j=minlong; j<=maxlong; j=j+intervalo){
    //verifica se o ponto (i, j) pertenece ao poligono
    contem = contemponto(i, j);
    if(contem){ //se o ponto pertenece ao polígono,armazena
      arraypontos.insereponto(i ,j);
      totpontos++; //total de pontos armazenados
    }
  }
}

```

**Figura 3. Algoritmo de determinação dos possíveis pontos de localização.**

Ressalta-se também a importância do parâmetro *intervalo*, que quanto menor o seu valor, maior a precisão da cobertura, mas conseqüentemente maior o número de possíveis locais de posicionamento e maior o tempo computacional. A complexidade computacional deste problema é dada por  $O(n^m)=(n+1)^m$ , onde  $n$  é o número de sensores diferentes, sendo o mais 1 referente a ausência de sensor e  $m$  é o número de possíveis pontos/locais de posicionamento (mesmo valor de *totpontos* da Figura 3). Isto caracteriza o problema como tendo comportamento exponencial em função do tamanho da entrada (NP-Difícil) (Garey and Johnson, 1979), sendo assim, faz-se interessante o uso de heurísticas para encontrar soluções boas (aproximadas) em baixo tempo computacional.

### 3. Heurística Implementada

Neste artigo foi proposta uma heurística baseada em AG para configuração de uma RSSF para cobertura de uma região. O AG proposto neste trabalho segue a estrutura do AG básico conforme especificado em Goldberg (1989) e possui basicamente as etapas de: representação de uma solução na estrutura de um cromossomo, geração de uma população inicial, uma função de aptidão, um procedimento para reprodução de novas soluções utilizando operadores genéticos (seleção, crossover e mutação), um procedimento de refinamento de soluções e um critério de parada. São descritas a seguir cada uma destas etapas.

#### 3.1. Representação de uma Solução do Problema na Estrutura de um Cromossomo

A representação genética indica como será uma possível solução para o problema ao qual se deseja resolver (Goldberg, 1989). No caso do problema em questão, cada indivíduo da população (cromossomo ou solução) é representado da seguinte forma:

- Tem-se um vetor que é do tamanho do número de possíveis locais de posicionamento de sensores (*totpontos*) na área a ser monitorada.
- O índice do vetor indica um possível local posicionamento para um dos tipos disponíveis de sensores. Cada um dos  $n$  tipos de sensor é numerado de 1 a  $n$ .
- O conteúdo de uma posição do vetor (um número inteiro) indica qual tipo de sensor foi utilizado no local de posicionamento correspondente. Se o valor da posição for zero, indica ausência de sensor naquele local.

Um exemplo de representação de uma solução na estrutura de um cromossomo é mostrado na Figura 4, indicando que no local 1 está alocado um sensor do tipo 1, no local

4 um sensor do tipo 2, no local 9 um sensor do tipo 3 e os outros locais não possuem nenhum sensor (valor 0).

1	0	0	2	0	0	0	0	3	0
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Figura 4. Representação de uma solução do problema como um cromossomo.

### 3.2. Geração da População Inicial do AG

A população inicial de soluções/cromossomos deve ser criada de modo a iniciar o processo. A população inicial é gerada aleatoriamente, onde em cada posição do cromossomo (possível local de posicionamento) recebe um valor aleatório sorteado entre 0 e  $n$  (número de tipos de sensores).

### 3.3. Função de Avaliação

De modo a que cada solução realize o processo de competição pela sobrevivência do mais apto, é necessário que cada solução tenha um valor associado (Michalewicz, 1996). A mesma é calculada da forma descrita a seguir. Na posição do cromossomo cujo valor é diferente de zero, soma-se o valor do tipo do sensor correspondente e passa-se para a próxima posição. Já em uma posição do cromossomo cujo conteúdo é zero (ausência de sensor), deve-se verificar se o local correspondente está sendo coberto por um sensor que esteja em outra localização. Caso esteja sendo coberto, não se altera o custo da solução. Caso contrário, soma-se uma penalização ao custo da solução (neste trabalho foi considerado dez vezes o maior custo dos sensores disponíveis) por ter um local não coberto por qualquer sensor.

### 3.4. Mecanismo de Seleção e Reprodução dos Cromossomos

O mecanismo de seleção adotado no AG proposto é o de torneio de 3 elementos (cromossomos) sorteados aleatoriamente, onde o melhor dos 3 segue para reprodução.

Já no mecanismo de reprodução, foi considerado na operação de crossover o método clássico de 1-ponto e na operação de mutação a mudança do valor de uma posição no cromossomo por outro valor sorteado aleatoriamente entre 0 e  $n$  (Goldberg, 1989).

### 3.5. Critério de Parada do AG

O critério de parada adotado foi simplesmente alcançar o número de gerações especificado pelo usuário.

### 3.6. Refinamento do Melhor Cromossomo (Solução)

Em geral, faz-se uso do refinamento da melhor solução obtida pelo AG com intuito de obter soluções ainda melhores (Michalewicz and Fogel, 2004). Neste trabalho, o processo de refinamento foi aplicado à melhor solução obtida pelo AG e realizado da seguinte forma: para cada posição cujo conteúdo é diferente de zero (contém um sensor), verifica-se a possibilidade de retirá-lo sem que nenhum local de posicionamento possível fique descoberto. Caso isto ocorra, muda-se o valor da posição para zero e subtrai-se do valor da solução o custo do sensor retirado.

#### 4. Simulações Computacionais

A seguir serão apresentados as simulações e resultados computacionais realizados pela execução da heurística baseada em AG proposta para configuração de uma RSSF para cobertura de uma região.

A técnica foi implementada em Java fazendo uso da API do GoogleMaps (Brown, 2006) para entrada de dados e apresentação dos resultados e executada em uma máquina com processador Intel Core I5 M450 de 2.4Ghz e 4 Gb de RAM DDR3. Já os parâmetros utilizados no AG após testes empíricos foram: 50 para o tamanho da população, 50 para o número de gerações, 80% (0.8) para a probabilidade de crossover e 2% (0.02) para a probabilidade de mutação.

O processo se inicia com a determinação da área a ser monitorada, o número de tipos de sensores (neste caso 3) e intervalo de precisão da cobertura em Km (neste exemplo 0.1) conforme pode ser observado na Figura 5.

O próximo passo é clicar no botão busca heurística para se fazer a entrada dos custos e dos raios de ação em Km de cada sensor e posteriormente ser executada a heurística baseada em AG proposta.

Considerando o intervalo de precisão da cobertura em Km como 0.1 (100m) e o número de sensores como três (3) com os respectivos raios de 0.1, 0.2 e 0.3 Km e custo de 1, 2 e 3, tem-se a solução apresentada na Figura 6 para a área fornecida na Figura 5. Esta solução apresenta 240 possíveis locais de posicionamento com valor de 135 antes do processo de refino da melhor solução e 65 após com tempo de execução de 12.58 segundos de relógio.

Já considerando o intervalo de precisão da cobertura em Km como 0.05 (50m) e o número de sensores como três (3) com os respectivos custos de 0.1, 0.2 e 0.3 Km e custo de 1, 2 e 3, tem-se a solução apresentada na Figura 7 para a área fornecida na Figura 5. Esta solução apresenta 953 possíveis locais de posicionamento com valor de 518 antes do processo de refino da melhor solução e 81 após e tempo de execução de 65.23 segundos de relógio. Cita-se que os círculos vermelhos têm raio de 0.1 Km, os azuis de 0.2 Km e os verdes de 0.3 Km.

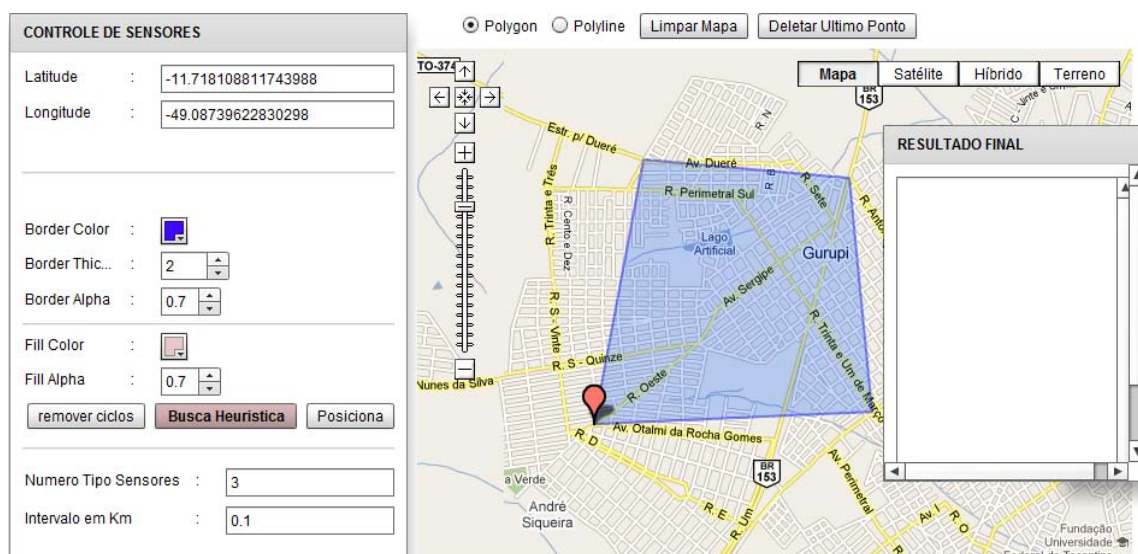


Figura 5. Interface do sistema.

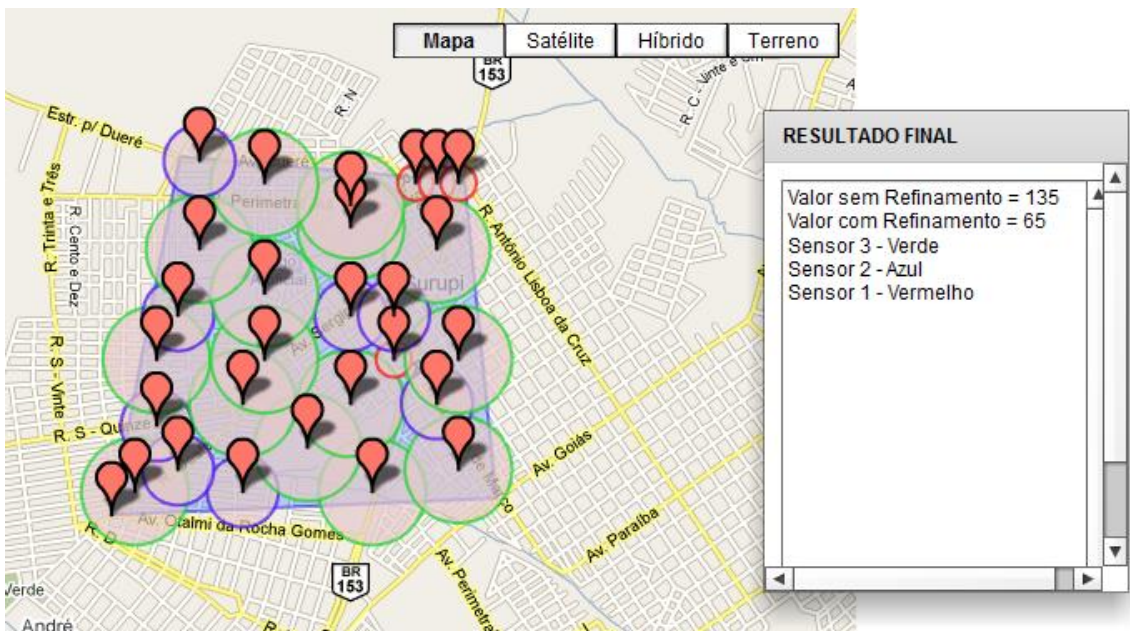


Figura 6. Possível solução com 3 sensores e intervalo de 0.1 Km.

Conforme citado na seção 2.1, quanto menor o intervalo, maior a precisão da cobertura da região e consequentemente maior o número de possíveis locais de posicionamento, decorrendo em maior tempo computacional e aumento do custo da solução apresentada, o que foi comprovado pelos experimentos realizados. Outra questão que vale a pena ser relatada é a boa eficiência do método de refinamento, eliminando a utilização de sensores desnecessários para manter a cobertura de todos os locais de posicionamento e consequentemente reduzindo o custo final da solução. Nos testes realizados foram eliminados em média 70% de nós desnecessários.

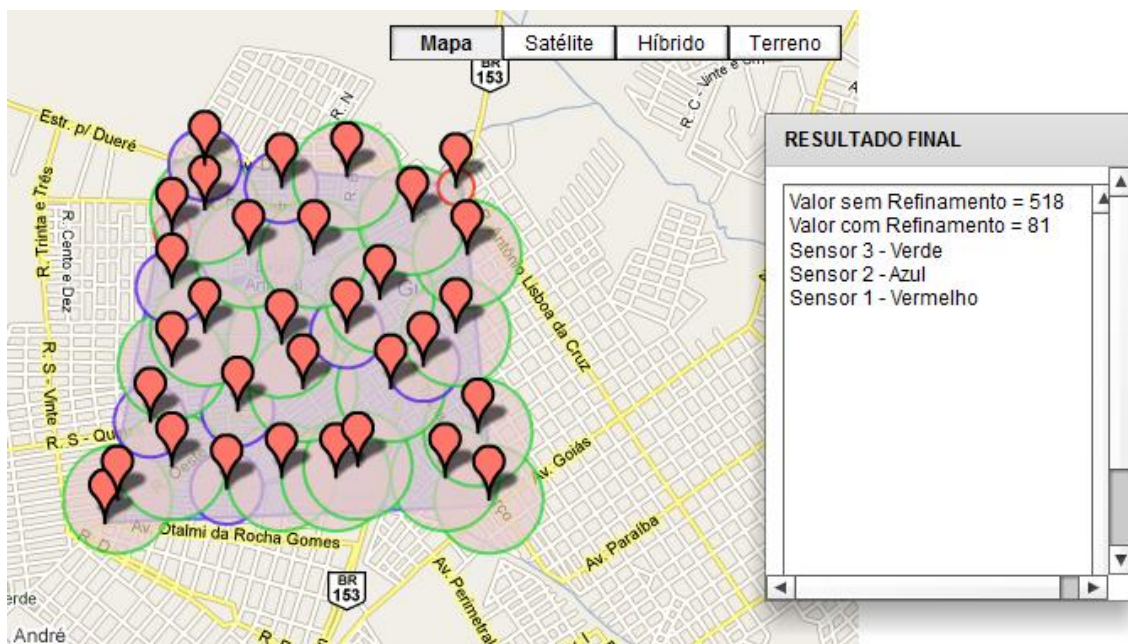


Figura 7. Possível solução com 3 sensores e intervalo de 0.05 Km.

## 5. Conclusão e Trabalhos Futuros

Neste trabalho foi apresentada uma heurística baseada em AG para o problema de configuração de uma RSSF para simular a cobertura de uma região especificada. Foram realizadas simulações computacionais fazendo uso de vários tipos de sensores, onde cada um possuía um custo e raio de sensoriamento diferente, como também variações nos intervalos (distância máxima) entre os sensores.

Nas simulações realizados, verificou-se que o AG proposto atendeu o requisito de cobrir com os sensores a área especificada e que o método de refinamento funcionou a contento, propiciando soluções de menor custo. Outro fator relevante foi a influência do intervalo de precisão considerado, que quanto menor, maior o custo da solução.

De acordo com os resultados computacionais apresentados, obtiveram-se boas soluções em baixo tempo computacionais para problema tão complexo (NP-Difícil) e com grande número de aplicações práticas.

Em termos de trabalhos futuros têm-se diversas possibilidades, dentre elas: paralelização do AG para aumento do desempenho e conseqüentemente um maior número de simulações, utilização de método de refinamento da melhor solução mais eficiente, utilização de outras heurísticas (ILS, VNS, etc) entre outros.

## Rererências

- Akyildiz, I.F., Su, W., Sankarasubramaniam, Y. and Cayirci E.** (2002), A Survey on Sensor Network, IEEE Communication Magazine, vol. 40, no. 8, pp. 102-114.
- Brown, M. C.** (2006), Hacking Google Maps and Google Earth. Canada, Ed. Wiley.
- Estrin, D. G., L. Pottie, G. and Srivastava, M.** (2001), Instrumenting the world with wireless sensor networks. In ICASSP, May 2001.
- Garey, M. R. and Johnson, D. S.** (1979), Computers and Intractability: A Guide to the Theory of NP-completeness. W. H. Freeman, San Francisco.
- Goldberg, D. E.** (1989), Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning. Massachusetts: Addison-Wesley Co.
- Loureiro, A., Nogueira, J., Ruiz, L., Mini, R., Nakamura, E. e Figueiredo, C.** (2003), Redes de sensores sem fio. XXI Simpósio Brasileiro de redes de computadores, p. 179-226.
- Michalewicz, Z.** (1996), Genetic Algorithms + Data Structures = Evolution Programs, 3a. Ed., Springer-Verlag.
- Michalewicz, Z. and Fogel, D. B.** (2004), How to solve it: modern heuristics. 2. ed. New york: Springer.
- Nakamura, F. G.** (2003), Planejamento Dinâmico para Controle de Cobertura e Conectividade em Redes de Sensores Sem Fio Plana. Tese de Mestrado UFMG, 2003.
- Tilak, S., Abu-Ghazaleh, N. B. and Heinzelman, W.** (2002), Infrastructure tradeoffs sensor networks. In Proceedings of the First ACM International Workshop Wireless Sensor Networks and Applications, pages 49:58. ACM Press.