

# Uma Abordagem de Grades Virtuais para Agrupamento e Roteamento em Redes de Sensores Sem Fio com Sorvedouro Móvel

André Ricardo Melo Araújo<sup>1</sup>, Adriana Gomes Penaranda<sup>1</sup>, Fabíola Guerra Nakamura<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Programa de Pós-Graduação em Informática - PPGI

<sup>2</sup>Instituto de Computação - IComp  
Universidade Federal do Amazonas - UFAM, Manaus, AM, Brasil

{andremeloaraujo, dricah.gp}@gmail.com, fabiola@icomp.ufam.edu.br

**Resumo.** *Redes de Sensores Sem Fio são um tipo de redes ad hoc compostas por nós sensores. A alta concentração de nós sensores resulta em um alto tráfego de dados, colisões de pacotes, interferências e gasto de energia desnecessário. Para tratar estes problemas, organizamos os nós sensores em grupos, que são formados por grades virtuais, e usamos um sorvedouro móvel para coletar os dados. O problema de agrupamento consiste em definir quais grades virtuais compõem cada grupo e o problema de roteamento consiste em definir a rota para o sorvedouro percorrer. Propomos duas abordagens para o problema de agrupamento e duas abordagens para o roteamento. Resolvemos os problemas separados e em conjunto e nossos resultados mostram que, resolver os problemas em conjunto conduz a melhores resultados, especialmente em termos de tamanho da rota do nó sorvedouro.*

**PALAVRAS CHAVE:** *Rede de Sensores Sem Fio; Roteamento; Agrupamento. Área principal: Otimização Combinatória.*

**Abstract.** *Wireless Sensor Networks (WSNs) are a kind of ad hoc networks composed of sensor nodes. The high concentration of sensor nodes results in high traffic of data, packet collisions, interferences, and spend energy unnecessarily. To solve these problems we organize the sensor nodes into clusters, that there are formed by a group of virtual grids, and use a mobile sink to collect data. The Routing Problem consists in defining the route of a mobile sink that will cross the monitoring area. We propose two approaches for the clustering problem and two approaches for routing the mobile sink. Our results show that to solve the problems together leads to better results regarding the length of the sink route.*

**KEYWORDS:** *Wireless Sensor Network; Routing; Clustering. Main area: Combinatorial Optimization.*

## 1. Introdução

Redes de Sensores Sem Fio (RSSFs) são um tipo especial de redes *ad hoc* compostas de dispositivos capazes de processar, armazenar, sensoriar o ambiente e transmitir dados via interface de comunicação sem fio, chamados de nós sensores. Nestas redes, os nós estão equipados com uma variedade de sensores, tais como acústico, sísmico, câmera de vídeo, infravermelho, calor, temperatura e pressão. Por esta razão, este tipo de rede pode

ser encontrado em diversas áreas, como em ambientes industriais, segurança de centros comerciais, ou mesmo no rastreamento de animais [Akyildiz et al. 2002].

A alta concentração de nós sensores dá à rede a capacidade de aquisição de dados com uma melhor qualidade, dada a redundância de nós na área, e faz com que a rede seja tolerante a falhas. No entanto, as redes de alta densidade têm alto tráfego de dados e são suscetíveis a colisões de pacotes e interferências [Deng et al. 2005], que podem elevar o consumo de energia com transmissões.

Neste trabalho, organizamos os nós sensores em grupos (ou *clusters*) e usamos um sorvedouro móvel que visita cada grupo para buscar os dados que foram coletados, com o objetivo de reduzir o tráfego de dados, visando a economia de energia e minimizar os problemas provocados pela alta densidade de nós. Definimos estes problemas como o Problema de Agrupamento e o Problema de Roteamento.

Cada grupo tem um líder que é o nó responsável pela transmissão dos dados para o sorvedouro [Heinzelman et al. 2000]. Propomos duas abordagens para o Problema de Agrupamento que usa a idéia de grades virtuais para formar os grupos, *Greedy Clustering Algorithm* (GCA) and *Greedy Clustering Algorithm - Border* (GCA-B).

Nestas abordagens, dividimos a área de monitoramento em grades e cada grupo é um conjunto de grades virtuais. O tamanho da grade é determinado pelo valor do raio de comunicação. O líder do grupo pertence a uma grade específica do grupo.

O Problema de Roteamento consiste em definir uma rota para um sorvedouro móvel atravessar a área de monitoramento com o objetivo de coletar dados. Propomos duas heurísticas baseadas no *Centralized Spatial Partitioning* (CSP) [Chatzigiannakis et al. 2007] para definir a rota, onde o sorvedouro móvel implementa um movimento de serpente sobre a área: o *Centralized Spatial Partitioning Grid* (CSPG) e o *Centralized Spatial Partitioning Grid - Border* (CSPG-B).

Todas as abordagens são centralizadas e o sorvedouro móvel conhece a posição de todos os nós sensores. Nas abordagens CSPs, o sorvedouro móvel só precisa saber o tamanho da área, porque o percurso é fixo.

Este artigo está organizado da seguinte forma. Seção 2 lista algoritmos conhecidos para os problemas de agrupamento e roteamento em RSSF. Seção 3 define o Problema de Agrupamento e apresenta os métodos utilizados. Seção 4 define o Problema de Roteamento e apresenta as abordagens utilizadas. Seção 5 mostra os resultados computacionais e a Seção 6 as nossas conclusões.

## 2. Trabalhos Relacionados

Os Problemas de Agrupamento e Roteamento em Rede de Sensores Sem Fio (RSSF) com sorvedouro móvel têm sido amplamente estudados. O agrupamento é proposto como uma técnica para aumentar o rendimento e reduzir o consumo de energia e latência [Heinzelman et al. 2000]. Um ou mais sorvedouros móveis contribuem para aumentar o tempo de vida do sistema, pois reduzem o número de pacotes transmitidos. A energia extra gasta para a operação e movimento do nó sorvedouro não afeta a vida útil da rede já que o sorvedouro móvel é considerado um fator externo [Chatzigiannakis et al. 2008].

Chen et al. (2007) apresentam o *Hybrid-Structure Routing Protocol* (HSRP, pro-

tolocó de roteamento com estrutura híbrida), um protocolo que combina os benefícios de estruturas baseadas em grades e baseadas em grupos. A estrutura baseada em grade é projetada para resolver o problema de seleção de líderes de grupos. Após isto, os líderes mandam uma simples mensagem "HELLO" para todos os nós sensores a sua volta com a intenção de formar os grupos.

Aioffi et al. (2011) usam algoritmos de otimização para definir políticas de controle de densidade, grupos de sensores, e as rotas do sorvedouro para a coleta de dados. Eles lidam com a natureza multi-objetivo do problema, minimizar a latência de entrega da mensagem e a imposição de restrições de topologia que ajudam a reduzir o consumo de energia. Os autores propõem metaheurísticas para resolver o problema e incorporar as suas soluções em um ambiente de simulação.

Chatziyiannakis et al. (2007) investigam o impacto de múltiplos sorvedouros móveis na coleta de dados em redes de sensores sem fio. Para melhorar o desempenho, o seu protocolo minimiza as sobreposições das rotas dos sorvedouros e busca um maior equilíbrio da carga de serviço entre os sorvedouros. O protocolo centralizado, chamado de *Centralized Spatial Partitioning* (CSP), implementa, repetidamente, um 'movimento de cobra' sobre a área para coletar os dados dos sensores.

Nakayama et al. (2007) propõem abordagens que, como CSP, deixam de integrar a resolução do agrupamento e o problema de roteamento. Depois de agrupar os nós sensores usam um esquema chamado *K-means*, uma rota para todos os líderes é encontrada por uma heurística de busca local. Em nosso trabalho, a integração entre os Algoritmos de Agrupamento e Roteamento geram pequenas mudanças que levam a melhores resultados, em relação ao tamanho da rota do nó sorvedouro.

### 3. Problema de Agrupamento

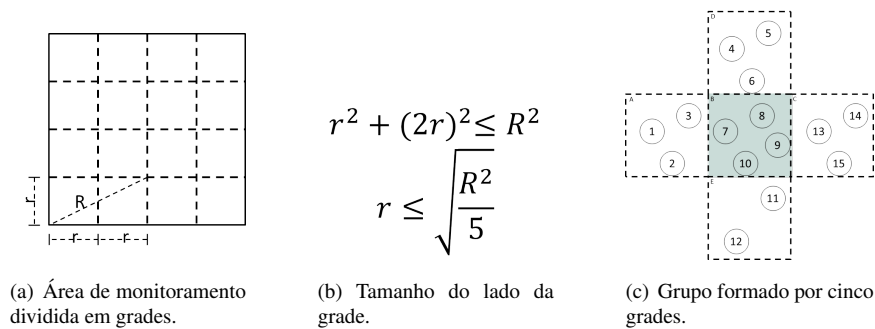
O Problema de Agrupamento em RSSF pode ser descrito como encontrar grupos de nós sensores que estão relativamente próximos e podem se comunicar com um nó líder.

Formalmente, podemos definir o problema como: *Dado um conjunto de sensores  $S = \{1, 2, \dots, n\}$  e suas coordenadas no espaço. O problema agrupamento é encontrar subconjuntos de  $S$ , que são independentes entre si, e cada subconjunto deve ter pelo menos um sensor que pode se comunicar com todos os nós do grupo.* Este foi modelado como um problema de minimização, ou seja, encontrar o "menor" número de grupos, o que ocasiona ao nó sorvedouro uma rota menor. Porém, pode ocasionar um maior consumo de energia na rede, em decorrência do maior número de sensores dentro do grupo o gerando uma maior hierarquia.

Não há necessidade para o líder de um grupo se comunicar com um outro grupo uma vez que teremos um sorvedouro móvel que visitará todos os grupos. Se considerarmos um sorvedouro fixo, será necessário incluir uma restrição assegurando pelo menos uma rota de comunicação entre os líderes de cada agrupamento para o sorvedouro.

#### 3.1. Grades Virtuais para o Agrupamento

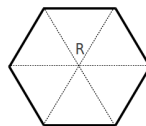
Propomos uma abordagem baseada em grades virtuais. Dividimos a área de monitoramento em grades, onde cada grade é quadrado de lado  $r$ , como mostrado na Figura 1(a). O tamanho da grade (Figura 1(b)) é determinado pelo valor do raio de comunicação  $R$ , como utilizado no algoritmo GAF (Geographical Adaptive fidelidade) [Xu et al. 2001].



**Figura 1. Grades virtuais para o Problema de Agrupamento**

Isto permite que um sensor, dentro de uma grade, comunique-se com qualquer outro sensor em uma grade adjacente. Baseado neste conceito, agrupamos cinco grades para formar um grupo, como mostrado na Figura 1(c). Assim, o líder é um sensor que está dentro da grade central para que consiga se comunicar com qualquer outro sensor no grupo, gerando apenas um nível de hierarquia. Em alguns casos, o grupo pode ter menos do que cinco grades e pode até mesmo ser composto de apenas uma grade.

Escolhemos o esquema de cruz ao invés do esquema de hexágono (ver Figura 2) por que o esquema de cruz é mais simples para o nó sensor encontrar a qual grade ele pertence. O esquema de cruz cobre uma área maior que a do esquema de hexágono ( $R^2 > \frac{R^2 3\sqrt{3}}{8}$ ).



**Figura 2. Modelo de grupo no esquema de Hexágono.**

### 3.2. Modelo Matemático

Modelamos o Problema de Agrupamento com grades virtuais como Problema de Cobertura de Conjuntos (PCC) [Johnson 1973], onde cada grupo cobre determinadas grades, tendo como objetivo de minimizar o número de grupos. Para isto, precisamos simular cada possível grupo tendo uma determinada grade como centro. Ou seja, para cada grade montamos todos os possíveis grupos. Estes grupos representam os conjuntos do PCC.

Desta forma, todas as grades, que não estejam em uma das laterais ou cantos, poderão ter 16 possíveis grupos, sendo 1 composto de 1 grade, 4 compostos de 2 grades, 6 compostos de 3 grades, 4 compostos de 4 grades e 1 composto de 5 grades, como mostrado na Figura 3(b) onde o 'x' indica a grade central.

As grades dos cantos e das laterais não podem formar todos os 16 possíveis grupos. Os cantos só podem formar 4 possíveis grupos e as laterais 8 possíveis grupos, como visto na Figura 3(a) onde o 'x' indica a grade central.

Um grupo cobre todas as grades que pertencem a ele. Assim, para a área de monitoramento temos que encontrar o menor número de grupos que cobre todas as grades. O modelo matemático resultante é demonstrado a seguir:

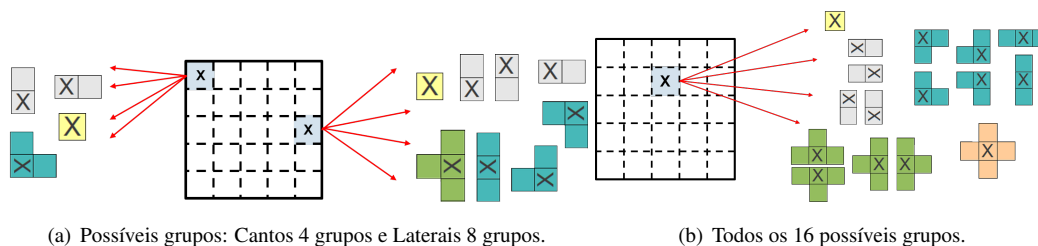


Figura 3. Possíveis grupos para uma determinada grade.

$$\text{Minimizar } \sum_{j \in \text{GRUPOS}} x_j \tag{1}$$

sujeito a:

$$\sum_{j \in \text{GRUPOS}} C_{ij} x_j = 1 \quad i \in \text{GRADES} \tag{2}$$

$$x_j \in \{0, 1\} \quad j \in \text{GRUPOS} \tag{3}$$

onde o  $x_j$  representa cada possível grupos, e a matriz  $C_{ij}$  é a relação grade  $\times$  grupo que indica quais grupos cobrem a grade.

Destaca-se que na equação 2 (restrição que garante a cobertura de todas as grades) o somatório tem que ser igual (=) a 1, e no modelo clássico do PCC é maior ou igual ( $\geq$ ) a 1. Isto se deve ao fato de não poder existir sobreposição de grupos, ou seja, uma mesma grade não pode pertencer a mais de um grupo.

### 3.3. Algoritmos de Agrupamento com Grades Virtuais

Criamos duas abordagens que utilizam as Grades Virtuais para tratar o Problema de Agrupamento: o *Greedy Clustering Algorithm* (GCA) e o *Greedy Clustering Algorithm - Border* (GCA-B). Ambos algoritmos geram grades e grupos.

O objetivo do GCA é, a cada iteração, escolher um dos grupos que contém mais grades virtuais. Inicialmente, os grupos com cinco grades, em seguida os grupos com quatro grades, depois os com três grades, duas grades e, finalmente, os grupos com somente uma grade. O algoritmo compõe, primeiramente, o centro da área de monitoramento com grupos e, em seguida, os lados da área. A Figura 4 ilustra os passos da abordagem.

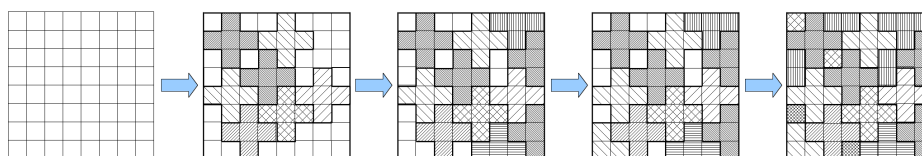


Figura 4. Greedy Clustering Algorithm.

Quando analisamos o Problema de Agrupamento e Roteamento juntos, percebemos que a posição da grade que contém o líder é o que define a rota que o nó sorvedouro deverá fazer, já que o nó sorvedouro deve percorrer a área a ser monitorada e coletar os dados dos grupos com os líderes. No GCA-B, forçamos alguns grupos a serem escolhidos com o objetivo de diminuir o tamanho da rota do nó sorvedouro. Evitamos que a grade central esteja localizada em um canto ou em uma lateral da área de monitoramento.

O primeiro passo do GCA-B é escolher os grupos dos cantos da área de monitoramento. Nesta abordagem, os primeiros grupos não têm cinco grades, isto é feito para garantir que os líderes estejam localizados na segunda e na penúltima coluna. O algoritmo completa a lateral com grupos compostos de três grades em linha. No final, completamos a área com o mesmo algoritmo do GCA. A Figura 5 explica os passos do GCA-B. O 'x' representa a posição da grade central no grupo.

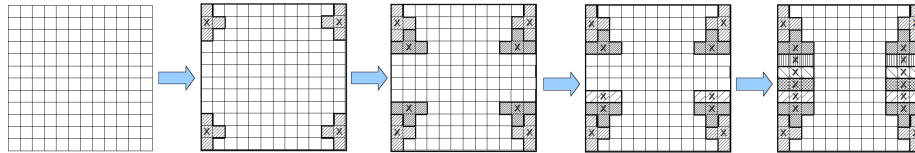


Figura 5. Greedy Clustering Algorithm - Border.

#### 4. Problema de Roteamento

O Problema de Roteamento apresentado neste trabalho consiste em um sorvedouro móvel que percorrerá a área de monitoramento com o objetivo de coletar os dados que foram obtidos pelos sensores. Este problema pode ser modelado como o Problema do Caixeiro Viajante (PCV) [Dantzig et al. 1954].

O PCV consiste na procura de uma rota que começa em alguma cidade, passe por todas as outras cidades e retorne a cidade inicial, essa rota deverá possuir o menor custo [Dantzig et al. 1954]. Este custo pode ser a distância, custo financeiro, ou, ainda, o custo de energia gasta por uma pessoa ou objeto entre as cidades.

Em RSSF, os sensores ou grupos representam as cidades que devem ser visitadas e o sorvedouro móvel representa o caixeiro que deverá percorrer a rota.

##### 4.1. Abordagens baseadas no *Centralized Spatial Partitioning*

*Centralized Spatial Partitioning* foi formulado por [Chatzigiannakis et al. 2007]. Nesta abordagem o sorvedouro móvel monta sua rota em segmentos horizontais paralelos. Esta rota se assemelha a um movimento de cobra sobre a área. A Figura 6(a) mostra a rota do sorvedouro móvel.

Cada segmento é separado por uma distância de  $2R/\sqrt{2}$ , assegurando que todos os nós possam se comunicar com todos os sensores. Para esta solução, a posição dos sensores ou grupos não altera a rota do sorvedouro móvel. Em outras palavras, a rota é constante. O sorvedouro necessita conhecer, somente, o tamanho da área de monitoramento e o raio de comunicação. Assim, facilmente obtém todo o caminho.

Já o *Centralized Spatial Partitioning Grid* (CSPG) tem a mesma idéia do CSP, mas, nesta abordagem, usa o tamanho da grade para modelar a trajetória. Cada segmento são paralelas com distância  $4r$  ( $r$  é o tamanho de uma grade). A rota é projetada para permitir que sorvedouro alcance todas as grades da área. A Figura 6(b) explica como a rota é gerada. Nesta abordagem, a distância entre um segmento e outro é maior que a do CSP ( $2R/\sqrt{2} \leq 4R/\sqrt{5}$ ), o que diminui o tamanho da rota.

A abordagem *Centralized Spatial Partitioning Grid - Border* (CSPG-B) funciona da mesma forma que o CSPG, mas utiliza o algoritmo GCA-B para o agrupamento, enquanto o CSPG usa o GCA.

No CSPG-B cada segmento horizontal inicia no final da segunda coluna de grades e termina no início da penúltima coluna, uma vez que é garantido que o líder do grupo não estará nos cantos e nem nas laterais da área de monitoramento. A Figura 6(c) mostra a rota do nó sorvedouro com o CSPG-B. Com esta abordagem, conseguimos reduzir o custo, para cada segmento, em  $2r$  (onde  $r$  é o tamanho da grade). Isto demonstra que o custo da rota do nó sorvedouro pode se beneficiar da integração do problema de agrupamento e de roteamento. Diminuir a rota do nó sorvedouro proporciona a redução do atraso e latência nos dados, no consumo de energia do nó sorvedouro, entre outros.

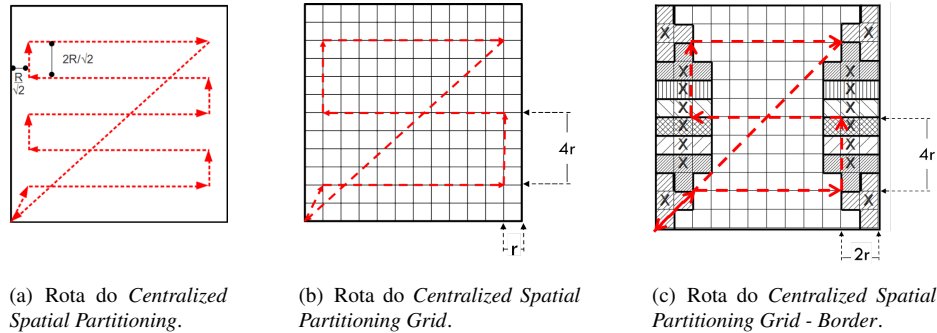


Figura 6. Heurísticas para o Problema de Roteamento.

## 5. Resultados Computacionais

Esta seção apresenta parâmetros, métricas e resultados computacionais. Realizamos simulações representando a área de monitoramento por um quadrado no plano e a comunicação é representada por um círculo de raio  $R$ . Estes parâmetros variam para cada par de valores Raio de Comunicação  $\times$  Área de Monitoramento, onde geremos 33 instâncias, cada uma representando uma configuração inicial da RSSF. Considerando  $u.d.$  a unidade de distância, usamos os seguintes parâmetros:

- Raio de Comunicação:  $7u.d.$ ,  $9u.d.$  e  $13u.d.$ .
- Área de Monitoramento:  $30u.d. \times 30u.d.$ ,  $50u.d. \times 50u.d.$ ,  $80u.d. \times 80u.d.$ ,  $100u.d. \times 100u.d.$ ,  $150u.d. \times 150u.d.$ , e  $200u.d. \times 200u.d.$ .

A posição dos nós seguem uma configuração irregular, onde 10000 nós sensores foram posicionados na forma de uma grade e erros aleatórios foram aplicados para suas coordenadas  $(x, y)$ . O sorvedouro móvel inicia sua rota no canto inferior esquerdo. O modelo matemático foi executado via CPLEX e limitado a 2 horas de execução.

A métrica para o Problema de Agrupamento é o menor número de grupos para o GCA e o GCA-B. Dado os aspectos aleatórios dos algoritmos, apresentamos a média aritmética e o desvio padrão das 30 execuções.

A métrica para o Problema de Roteamento é o tamanho da rota do nó sorvedouro, que inicia e retorna ao canto inferior esquerdo da área de monitoramento. Em trabalhos prévios, desenvolvemos heurísticas baseadas no algoritmo do Vizinho mais Próximo para o PCV. Essas heurísticas visitam cada cluster, mas os resultados têm rotas mais longas que o CSP, CSPG e CSPG-B e foram suprimidos deste trabalho para economizar espaço.

Na Tabela 1, apresentamos os principais resultados para cada abordagem de agrupamento. Nas primeiras duas colunas, indicamos o raio de comunicação e a área de monitoramento. Nas próximas duas colunas, apresentamos os limites inferior (LI) e superior

(LS) alcançados com a resolução do modelo matemático. Na sequência, apresentamos média do número de grupos e o desvio padrão do GCA e do GCA-B. Ainda calculamos um GAP para a melhor solução inteira (LS) encontrada no modelo matemático ( $GAP = 100 * (N_c - LS)/N_c$ , onde  $N_c$  é o número de grupos).

O número de grupos varia de acordo com o tamanho do raio de comunicação ( $R$ ), quanto maior o raio menor o número de grupos. Por exemplo, na área de  $100u.d. \times 100u.d.$ , se o  $R = 7$  a média de grupos é 313,42, mas se  $R = 13$  a média de grupos é 100,85. GCA obteve um número de grupos menor que o GCA-B. A maior diferença absoluta entre as abordagens GCA e GCA-B é de 26 grupos ( $R = 9$  e  $200 u.d. \times 200 u.d.$ ), mas ela representa, somente, 3,32% de diferença relativa. Os dois algoritmos tiveram tempos de execução abaixo de 2 segundos, o que os tornam soluções mais viáveis que o modelo matemático, que na maioria dos testes executou em 2 horas. Dados que os algoritmos alcançaram resultados similares, ambos podem ser usados para resolver o problema.

Raio de Comunicação	Tamanho da Área (u.d.)	Modelo Matemático		GCA			GCA-B		
		LI	LS	Média	Desvio Padrão	GAP (%)	Média	Desvio Padrão	GAP (%)
7	30x30	24,00	24,00	31,45	1,12	23,69	33,83	1,42	29,06
	50x50	58,00	60,00	79,12	2,57	24,17	83,35	2,53	28,01
	80x80	143,43	155,00	207,82	5,42	25,42	215,12	6,67	27,95
	100x100	214,72	227,00	313,42	5,20	27,57	324,28	5,29	30,00
	150x150	474,20	533,00	703,82	8,60	24,27	703,27	8,22	24,21
	200x200	835,85	935,00	1244,33	10,29	24,86	1261,26	10,18	25,87
9	30x30	16,00	16,00	20,52	1,03	22,03	20,19	1,32	20,75
	50x50	40,00	40,00	52,58	2,40	23,93	53,95	2,28	25,86
	80x80	87,61	92,00	122,61	3,49	24,97	117,13	3,56	21,45
	100x100	133,09	143,00	192,76	4,04	25,81	194,91	4,42	26,63
	150x150	300,10	326,00	441,03	7,82	26,08	439,03	7,80	25,75
	200x200	513,98	589,00	760,24	9,30	22,52	786,31	9,84	25,09
13	30x30	10,00	10,00	11,97	0,59	16,46	12,79	0,50	21,81
	50x50	20,00	20,00	25,48	1,23	21,51	29,92	1,82	33,16
	80x80	47,00	47,00	61,24	2,37	23,25	63,83	2,39	26,37
	100x100	72,02	76,00	100,85	3,78	24,64	99,30	3,08	23,46
	150x150	143,43	154,00	206,82	5,05	25,54	218,98	5,51	29,67
	200x200	255,48	277,00	373,85	6,22	25,91	366,53	6,05	24,43

**Tabela 1. Tabela de Resultados para os algoritmos GCA e GCA-B, comparando-os com o Modelo Matemático.**

Em relação ao Problema de Roteamento, a Figura 7 mostra, como esperado, que o tamanho da área de monitoramento é diretamente proporcional ao comprimento da rota do nó sorvedouro. Além disso, o raio de comunicação ( $R$ ) é inversamente proporcional ao comprimento da rota. Isso acontece porque o raio de comunicação é o parâmetro que define o tamanho da grade ( $r \leq R/\sqrt{5}$ ).

A abordagem CSPG-B alcança melhores resultados em todas as instâncias. Isto acontece porque a distância entre os segmentos é maior ( $4r > 2R/\sqrt{2}$ ) que o CSP e também porque cada segmento reduz  $2r$  ( $r$  tamanho da grade) no tamanho da rota do nó sorvedouro quando comparado com o CSPG.

Dados os resultados, se a aplicação requer uma solução com o menor percurso, ele deve usar a combinação de GCA-B com CSPG-B para os Problemas de Agrupamento e Roteamento, respectivamente.

## 6. Considerações Finais

Este trabalho trata do Problema de Agrupamento e Roteamento em Rede de Sensores sem fio. Organizamos os nós sensores em grupos e usamos um sorvedouro móvel para



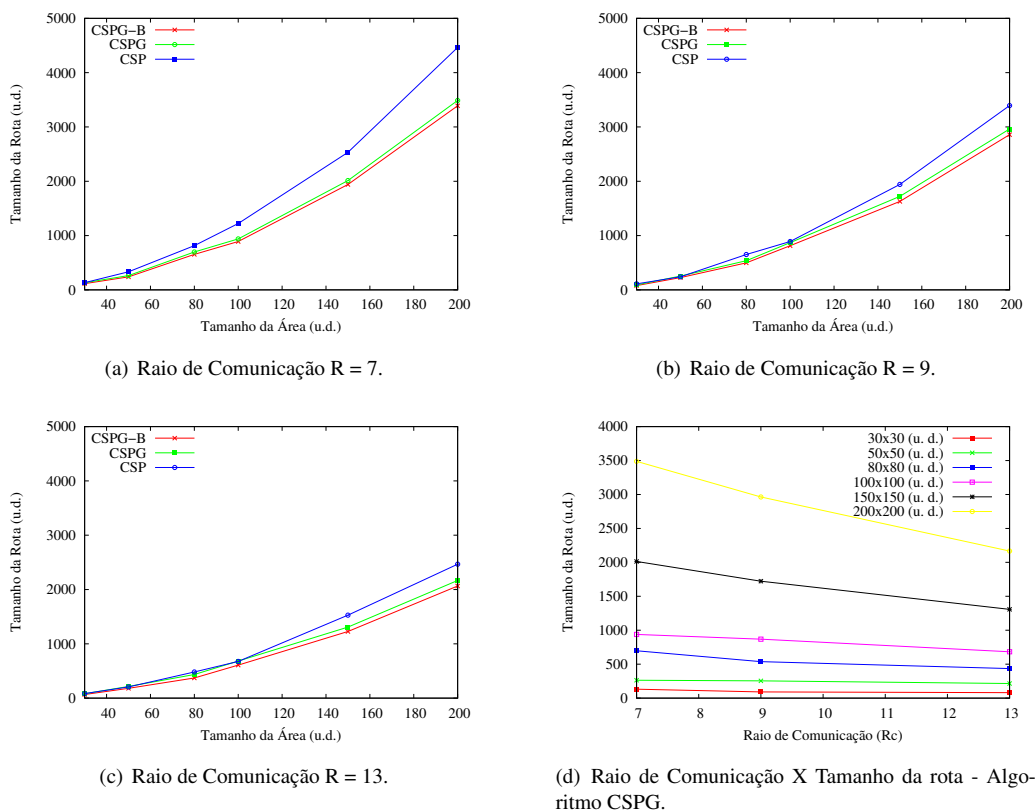


Figura 7. Resultados para o Problema de Roteamento.

coletar os dados, como uma alternativa para reduzir o tráfego de dados, poupar energia e minimizar os problemas causados pela alta densidade de nós.

O Problema de Agrupamento utiliza a idéia de grades virtuais onde um grupo é um subconjunto destas grades. Desenvolvemos duas abordagens para resolver este problema, GCA e GCA-B. A ideia do GCA é formar grupos com o maior número de grades possíveis. O GCA-B funciona como GCA mas evita que os líderes estejam nos cantos e nas laterais da área de monitoramento. Ele escolhe os grupos laterais de forma determinística então usa o GCA para concluir o processo. Neste trabalho, consideramos apenas uma área regular, talvez, em uma área irregular o algoritmo venha a ter piores resultados.

O Problema de Roteamento consiste de um sorvedouro móvel atravessando a área de monitoramento, a fim de recolher dados obtidos pelos sensores. Propomos duas heurísticas baseadas no *Centralized Spatial Partitioning* para resolver o problema, o CSPG e CSPG-B. Estas heurísticas proporcionam uma rota fixa para o sorvedouro móvel.

A utilização de grades virtuais para o Problema de Agrupamento provou ser uma boa solução para agrupar os nós e, ainda, é bastante simples para um nó, tendo em conta suas coordenadas, identificar a que grade ele pertence. Quanto ao Problema de Roteamento, a utilização das grades teve bons resultados em áreas retangulares, se considerarmos outras variações da área, os resultados podem ser inferiores. Nossos resultados mostraram que resolver os problemas em conjunto permite que algumas mudanças nos algoritmos leve a melhores resultados.

Nosso trabalho em andamento integra um esquema de controle de densidade para

os problemas de agrupamento e roteamento. Trabalhos futuros inclui uma versão distribuída dos algoritmos para melhor atender às grandes redes de sensores sem fio.

## 7. Agradecimentos

Este trabalho foi parcialmente financiado pelas seguintes instituições: (1) Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM), subsídios 575808/2008-0 (Revelar, CNPq/CT-Amazonia) e 2210.UNI175.3532.03022011 (Projeto Anura, PRONEX CNPq/FAPEAM 023/2009).

## Referências

- Aioffi, W. M., Valle, C. A., Mateus, G. R., and da Cunha, A. S. (2011). Balancing message delivery latency and network lifetime through an integrated model for clustering and routing in wireless sensor networks. *Computer Networks*, pages 2803–2820.
- Akyildiz, I., Su, W., Sankarasubramaniam, Y., and Cyirci, E. (2002). Wireless sensor networks: A survey. *Computer Networks*, pages 393–422.
- Chatzigiannakis, I., Kinalis, A., and Nikolettseas, S. (2008). Efficient data propagation strategies in wireless sensor networks using a single mobile sink. *Computer Communications*, pages 896–914.
- Chatzigiannakis, I., Kinalis, A., Nikolettseas, S., and Rolim, J. (2007). Fast and energy efficient sensor data collection by multiple mobile sinks. In *Proceedings of the 5th ACM international workshop on mobility management and wireless access*, pages 25–32.
- Chen, J.-L., Chen, M.-C., Huang, P.-Y., and Chang, Y.-C. (2007). Cluster-grid structure routing protocol for sensor mobility management. In *Sarnoff Symposium, 2007 IEEE*, pages 1–5.
- Dantzig, G., Fulkerson, R., and Johnson, S. (1954). Solution of a large-scale traveling-salesman problem. *Operations Research*, pages 393–410.
- Deng, J., Han, Y. S., Heinzelman, W. B., and Varshney, P. K. (2005). Scheduling sleeping nodes in high density cluster-based sensor networks. *Mobile Networks and Applications*, pages 825–835.
- Heinzelman, W. R., Chandrakasan, A., and Balakrishnan, H. (2000). Energy-efficient communication protocol for wireless microsensor networks. In *Proceedings of the 33rd Hawaii International Conference on System Sciences - Volume 8 - Volume 8, HICSS '00*, pages 8020–8030.
- Johnson, D. S. (1973). Approximation algorithms for combinatorial problems. In *Proceedings of the fifth annual ACM symposium on Theory of computing*, pages 38–49.
- Nakayama, H., Ansari, N., Jamalipour, A., and Kato, N. (2007). Fault-resilient sensing in wireless sensor networks. *Computer Communications*, pages 2375–2384.
- Xu, Y., Heidemann, J., and Estrin, D. (2001). Geography-informed energy conservation for ad hoc routing. In *International Conference on Mobile Computing and Networking (MOBICOM)*, pages 70–84.