

Uma Proposta para Roteamento Multisalto entre Clusters com Base na Energia Residual para Redução do Consumo de Energia em Redes de Sensores sem Fio

Paula Lima¹, Priscila Solis¹, Jonathan Lima¹

¹Departamento de Ciência da Computação – Universidade de Brasília (UnB)
Caixa Postal 4466 – 70919-970 – Brasília, DF – Brasil

{palelima,pris,}@cic.unb.br, jonathanalis@gmail.com

Abstract. *This paper presents a method to improve energy efficiency in a Wireless Sensor Network (WSN) with homogeneous and hierarchical topology. The proposal is based on dividing the network into two regions: a Non-Intensity Region (NIR) and an Intensity Region (IR) in which two different protocols are used for medium access control. The experimental results shows a reduction of the spent of average energy in the scenarios evaluated, with a clear advantage over the number of inactive nodes and the network lifetime.*

Resumo. *Este trabalho apresenta um método para melhorar a eficiência energética em uma Redes de Sensores Sem Fio (RSSF) com topologia homogênea e hierárquica. A proposta se baseia em dividir a rede em duas regiões: uma Região de Não Intensidade (RNI) e uma Região de Intensidade (RI), em que são utilizados dois protocolos diferentes de controle de acesso ao meio. Os resultados experimentais apresenta uma diminuição do gasto de energia média nos cenários avaliados, com uma clara vantagem em relação ao número de nós inativos e ao tempo de vida da rede.*

1. Introdução

Nas RSSF os protocolos de acesso ao meio são uma área de pesquisa ampla e podem ser divididos em dois grupos: protocolos baseados em contenção (CSMA) e protocolos baseados em multiplexação de tempo (TDMA). Nos protocolos baseados em contenção os nós acessam a rede de forma aleatória e concorrente, com o objetivo de reduzir o atraso e aumentar o desempenho [Rault et al. 2014].

Um outro problema importante é o efeito de afunilamento, que resulta quando vários eventos gerados na RSSF devem ser encaminhados a um ou mais nós sorvedouros [Ahn et al. 2006]. A ação conjunta de comunicação multisalto e a coleta centralizada de informação em direção ao nó sorvedouro criam maior colisão de pacotes, congestionamento e perda naqueles nós mais próximos do nó sorvedouro, aumentando a perda de pacotes e o consumo de energia, o que reduz a confiabilidade da rede e o tempo de vida [Ahn et al. 2006].

Dadas as restrições anteriores, os protocolos de roteamento convencionais adaptados às RSSF são uma vertente importante de pesquisa e uma das abordagens amplamente explorada tem sido o uso do paradigma hierárquico baseado em *clusters* [Singh and Sharma 2015]. Nessa técnica, a rede é organizada em grupos, com um nó

definido como *cluster head* (CH) em cada grupo, que centraliza a coleta e transmissão de dados para os outros nós do *cluster*. Os algoritmos LEACH (*Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy*) e LEACH-C [Jain and Gupta 2015] têm sido propostos com base nessas técnicas.

Este artigo tem como objetivo propor uma técnica para a melhoria da economia de energia em uma RSSF de topologia homogênea e hierárquica. A proposta integra protocolos MAC para reduzir o efeito de afunilamento nas RSSF e integra a proposta de uma técnica de roteamento entre *clusters* mediante uma adaptação do algoritmo de caminho mais curto de *Dijkstra* [Cormen 2009] para roteamento multissalto. As próximas seções deste artigo estão organizadas da seguinte maneira: a seção 2 apresenta os trabalhos relacionados, a seção 3 descreve em detalhe a proposta, a seção 4 apresenta os resultados experimentais. Por fim, a seção 5 apresenta as conclusões e trabalhos futuros.

2. Trabalhos Relacionados

As RSSF apresentam um efeito de afunilamento que resulta em um aumento significativo da intensidade do tráfego de trânsito, colisão, congestionamento, perda de pacotes e consumo de energia, conforme maior a proximidade dos nós ao nó sorvedouro. Uma proposta com resultados relevantes para reduzir o efeito de afunilamento é o Funneling MAC [Ahn et al. 2006]. O Funneling-MAC é um protocolo híbrido que combina técnicas de contenção e multiplexação de tempo ao dividir a rede em duas regiões, uma de intensidade (RI), em que o efeito de afunilamento é esperado, e uma outra região, a de não intensidade (RNI). O sorvedouro controla a potência de transmissão de quadros de *beacon* para regular a fronteira destas duas regiões. O nó sorvedouro controla o escalonamento TDMA de eventos dos sensores na RI e o CSMA é utilizado na RNI.

A combinação de técnicas para redução do efeito de afunilamento mediante protocolos de acesso ao meio, junto com técnicas de roteamento para economia de energia pode ser uma opção viável para melhorar a eficiência energética em uma RSSF. Para o roteamento várias propostas têm utilizado diversos paradigmas, entre as quais os algoritmos de roteamento hierárquico aparecem como uma opção com bons resultados e grande aplicabilidade [Singh and Sharma 2015].

3. Proposta para Encaminhamento Multissalto entre *Clusters*

A proposta deste trabalho utiliza como base as técnicas apresentadas no Funneling-MAC e no LEACH-C. Considerando uma RSSF homogênea, é adicionada às técnicas anteriores uma estratégia complementar para roteamento multissalto entre clusters com o objetivo de melhorar a eficiência energética e aumentar a escalabilidade da rede. A contribuição principal deste trabalho é um algoritmo de roteamento multissalto entre CHs, baseada no algoritmo de *Dijkstra* que usa como parâmetro de custo do enlace a energia residual do nó. A rede é dividida em duas regiões, a de intensidade (RI) e a de não intensidade (RNI), conforme as técnicas apresentadas no Funneling-MAC e no LEACH-C. Na proposta podem ser destacados alguns pontos importantes:

- a) Introdução de uma estratégia de roteamento multissalto entre os *clusters* para melhorar a economia de energia dos CHs e aumentar a área de cobertura, uma vez que a quantidade de energia utilizada para enviar pacotes diretamente para o nó sorvedouro é maior que a necessária para enviar pacotes para um nó mais próximo.

- Um nó pode ser candidato para exercer como CH de um *cluster* se possui energia residual suficiente para concluir ao menos um ciclo de roteamento;
- b) Os *clusters* próximos do nó sorvedouro, na RI, utilizam o TDMA para reduzir o efeito do afunilamento, o que aumenta a eficiência e para a escolha de diferentes CHs nesta região, além de aumentar a eficiência na comunicação dada a maior intensidade das transmissões;
 - c) Dentro do *cluster*, a comunicação entre os CH e os nós usa o TDMA se o *cluster* está na RI. O CSMA será utilizado para comunicação entre os nós e o CH se o *cluster* está na RNI. Todos os CHs utilizam TDMA para se comunicarem entre eles, independentemente da região;
 - d) Todos os nós são híbridos dado que qualquer um, em certo momento, pode vir a atuar como CH.

O pseudocódigo do algoritmo que implementa a proposta deste trabalho, chamado de REA-WSN, é descrito a seguir. Na linha 2 são definidos os parâmetros de configuração de rede, sobre a quantidade de nós, tamanho da área de simulação, energia inicial, entre outros. Na linha 3 a rede está sendo inicializada, nas linhas 4 a 8 delimita a RI em relação ao nó sorvedouro e calcula a distância do nó até o mesmo. Nas linhas 9 e 10 a função “*verifica_no_inativo*”, verifica se há algum nó inativo na rede, “*escolhe_CH*”, definem os CHs, “*associacao_no*” essa função associa os nós aos CHs, assim como a função “*cria_caminho*” define o caminho a ser seguido do CH até o nó sorvedouro esse procedimento de roteamento que é realizado com uma adaptação do algoritmo de *Dijkstra* com base no parâmetro de energia residual de cada CH.

O REA-WSN avalia se o CH que faz parte da rota definida terá energia suficiente para executar um ciclo de roteamento e dessa forma pode ser considerado na rota de encaminhamento para o nó sorvedouro. A função “*calcula_energia*” calcula a energia gasta em cada rodada. Por fim a função “*sincroniza*” sincroniza os quadros de dados dos nós para envio de quadros em modo TDMA.

Algoritmo 1: *Reduction Energy Algorithm in WSN (REA-WSN)*

```

1 início
2   função_parametros();
3   função_inicializacao();
4   para cada rodada faça
5     para cada nó faça
6       verificar a configuração da rede;
7     fim
8   fim
9   função_verifica_no_inativo(); função_escolhe_CH();
   função_associacao_no();
10  função_cria_caminho(); função_calcula_energia(); função_sincroniza();
11 fim

```

4. Resultados Experimentais

Foram definidos três cenários, com o número de nós variando entre 100 e 250, em áreas de cobertura diferentes, conforme descrito nos cenários. O número de rodadas corresponde

ao tempo estimado de simulação em cada cenário. O intervalo de confiança foi definido como $\mu - k \leq x \leq \mu + k$, em 95%, para o valor médio de um total de 10 simulações para cada cenário. A seguir são apresentados os resultados das simulações e a sua comparação com os resultados do Funneling-MAC e do LEACH-C.

4.1. Resultados do Cenário 1

O cenário é composto por 100 nós sensores distribuídos aleatoriamente em uma área de 100 x 100 com 200 rodadas de simulação. Para a energia relativa, a Figura 1(a) mostra que o algoritmo LEACH-C quando comparado ao REA-WSN, é 2% superior. O algoritmo Funneling-MAC é de 44% superior ao REA-WSN. A Figura 1(b) mostra a energia total, em que o LEACH-C teve um gasto 2% a mais de energia que o REA-WSN. Em relação ao Funneling-MAC 44% a mais de energia que o REA-WSN. A Figura 1(c) mostra os nós inativos, em que os algoritmos LEACH-C e REA-WSN mostram que ao final das 200 rodadas não morreu nenhum nó. Enquanto que no Funneling-MAC morreram 20 nós, o que corresponde a 20% do total de nós na rede.

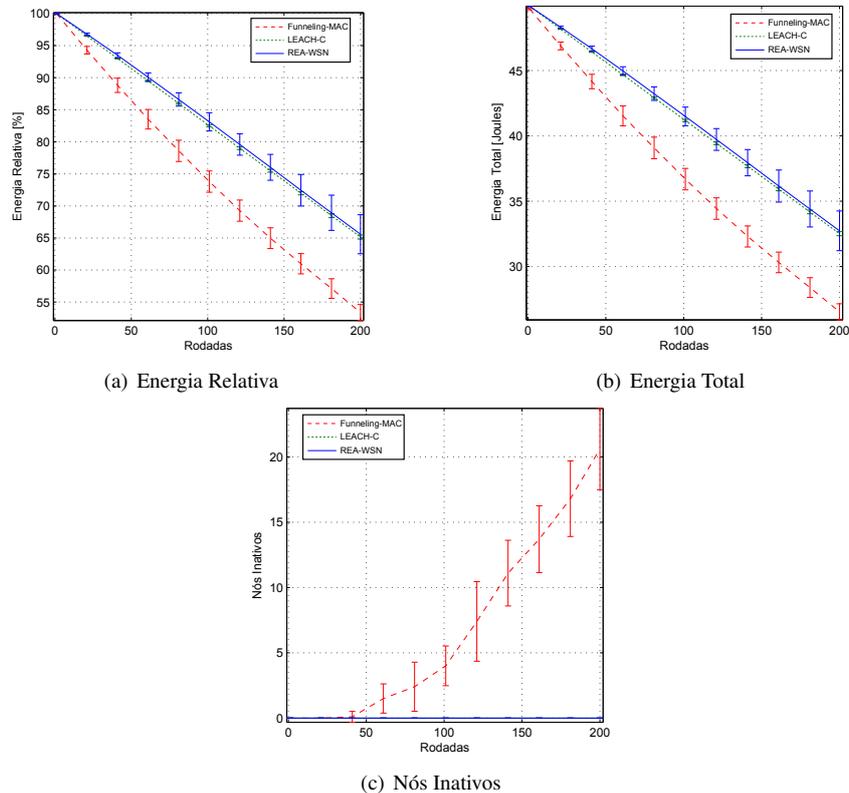


Figure 1. Cenário 1

4.2. Resultados do Cenário 2

O cenário 2 é composto por 200 nós sensores distribuídos aleatoriamente em uma área de 200 x 200 com 300 rodadas de simulação. A Figura 2(a) mostra os resultados de energia relativa. Pode-se observar que o algoritmo LEACH-C em relação ao REA-WSN apresenta um gasto de energia, em média, 20% superior. O Funneling-MAC apresenta um gasto de energia 41% superior ao REA-WSN. A Figura 2(b) mostra a energia total. O LEACH-C teve um gasto de energia do LEACH-C 20% a mais que o REA-WSN. O Funneling-MAC

teve um gasto de energia 41% a mais que o REA-WSN. Na Figura 2(c) pode-se observar que no algoritmo REA-WSN ao final das 300 rodadas não morreu nenhum nó. Enquanto que no Funneling-MAC morreram em média 85 nós, 45% do total de nós na rede e no LEACH-C morreram em média 10 nós, o que corresponde a 5% do total de nós na rede.

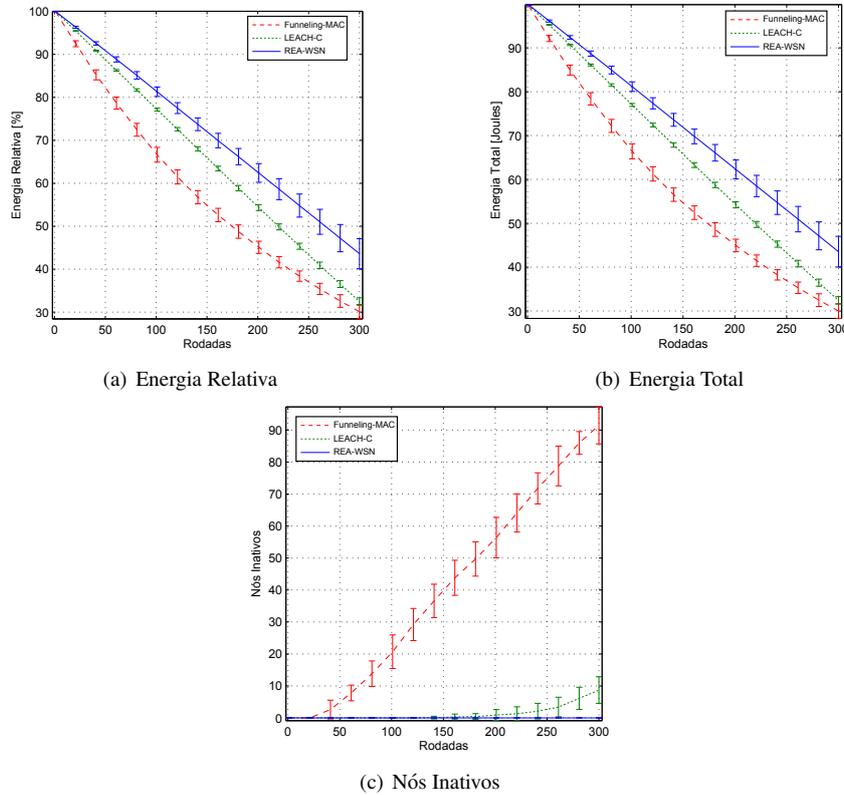


Figure 2. Cenário 2

4.3. Resultados do Cenário 3

O cenário 3 é composto por 250 nós sensores distribuídos aleatoriamente em uma área de 300 x 300 com 700 rodadas de simulação. A Figura 3(a) mostra que o LEACH-C em relação ao REA-WSN teve um gasto de energia, em média, 7% superior. O Funneling-MAC teve um gasto de energia 3% superior ao REA-WSN. A Figura 3(b) mostra o LEACH-C teve um gasto de 7% a mais de energia que REA-WSN. O Funneling-MAC teve um gasto de energia de 3% a mais de energia que o REA-WSN. Na Figura 3(c) pode-se observar que no algoritmo REA-WSN ao final das 700 rodadas morreram em média 240 nós, o que corresponde em torno de 95% do total de nós assim como no LEACH-C, em que morreram 235 nós, o que corresponde a 90% do total de nós. No Funneling-MAC morreram todos os nós em torno da rodada 570.

5. Conclusões e Trabalhos Futuros

Este trabalho fez a proposta do REA-WSN, um algoritmo multisalto entre *clusters* para economia de energia em uma RSSF. A proposta tem como base a integração de duas propostas, o Funneling-MAC e o LEACH-C, com a introdução básica de vários pontos de melhoria: uso de uma estratégia de roteamento multisaltos do melhor caminho entre grupos ou *clusters* com base na energia residual do nó, uso de nós híbridos em todas

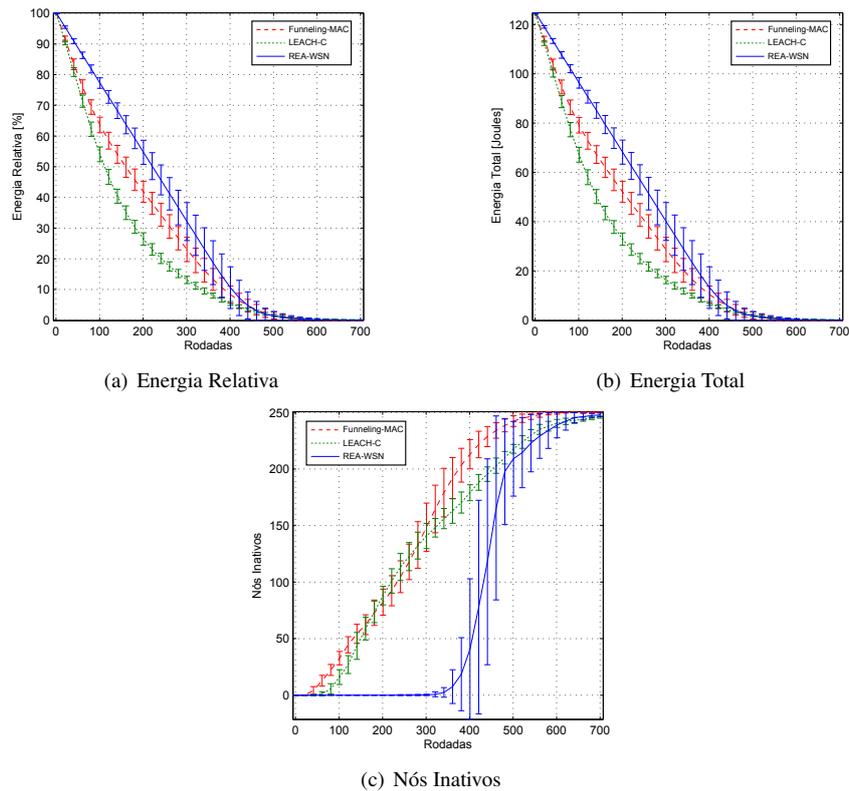


Figure 3. Cenário 3

as regiões da rede para transmissão em TDMA ou CSMA, comunicação TDMA entre os *cluster heads* e aumento da escalabilidade da rede. O algoritmo proposto calcula o caminho mais curto com base na energia residual em uma RSSF homogênea e hierárquica. A proposta foi avaliada em três cenários de simulação. Os resultados mostram que a proposta em relação ao LEACH-C e Funneling-MAC tem melhores resultados em todas as situações avaliadas, especialmente em redes com mais de 200 nós. Trabalhos futuros devem confrontar os resultados de consumo de energia com métricas de QoS, tais como atraso, perda de pacotes e vazão da rede.

References

- Ahn, G.-S., Hong, S. G., Miluzzo, E., Campbell, A. T., and Cuomo, F. (2006). Funneling-mac: a localized, sink-oriented mac for boosting fidelity in sensor networks. In *Proceedings of the 4th international conference on Embedded networked sensor systems*, pages 293–306. ACM.
- Cormen, T. H. (2009). *Introduction to algorithms*. MIT press.
- Jain, A. and Gupta, P. (2015). Leach inspired hierarchical routing protocols for wireless sensor networks. *International Journal of Information Technology, Communications and Convergence*, 3(2):120–138.
- Rault, T., Bouabdallah, A., and Challal, Y. (2014). Energy efficiency in wireless sensor networks: A top-down survey. *Computer Networks*, 67:104–122.
- Singh, S. P. and Sharma, S. (2015). A survey on cluster based routing protocols in wireless sensor networks. *Procedia Computer Science*, 45:687–695.