

# Modelo de Organização para Redes de Sensores Sem fio Móveis inspirada em Colônia de Abelhas

Guilherme Freire Roberto  
Departamento de Ciência da Computação e Estatística  
Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”  
São José do Rio Preto, SP, Brasil  
guilhermefreire@gmail.com

Luis Fernando Castilho Maschi  
Instituto Federal de São Paulo –  
Campus Catanduva  
Catanduva, SP, Brasil  
luis.maschi@ifsp.edu.br

Daniel Fernando Pigatto  
Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação  
Universidade de São Paulo  
São Carlos, SP, Brasil  
pigatto@icmc.usp.br

Kalinka Regina Lucas Jaquie Castelo Branco  
Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação  
Universidade de São Paulo  
São Carlos, SP, Brasil  
kalinka@icmc.usp.br

Leandro Alves Neves  
Departamento de Ciência da Computação e Estatística  
Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”  
São José do Rio Preto, SP, Brasil  
leandro@ibilce.unesp.br

Alex Sandro Roschildt Pinto  
Universidade Federal de Santa Catarina  
Blumenau, SC, Brasil  
alex.roschildt@gmail.com

**Abstract – Redes de sensores sem fio (RSSFs) são um tipo de redes de computadores especiais, que visam basicamente monitoramento e acompanhamento de uma área específica, seja com propósito militar, ambiental, industrial, etc. Estas redes são conhecidas como tipo de rede *Ad Hoc* e compostas de pequenos dispositivos computacionais, chamados de nodos, geralmente com capacidade de processamento limitada, capazes de sensoriamento do meio e roteamento de mensagens por meio de radiofrequência. Um grande problema neste tipo de redes é a maior eficiência energética destes nodos, pois os mesmos utilizam-se geralmente de baterias para se manterem funcionando. A troca de mensagens entre os nodos e estações de coleta de dados são os maiores consumidores de energia dentro da RSSF típica. Redes de sensores sem fio móveis (RSSFM) são uma interessante alternativa ao alcance de comunicação limitado de nodos em uma RSSF. Entretanto, devido a mobilidade dos nodos, estas redes necessitam de um frequente reformulação de rota para encaminhamento das mensagens até a base. A proposta deste estudo visa encontrar um modelo de organização para RSSFMs de modo auto-organizáveis baseada em colônias de abelhas, com o objetivo de reduzir o número de mensagens transmitidas entre os nodos e assim reduzir o consumo de energia, mantendo a eficiência de entrega da mensagem. Os dados obtidos neste artigo foram coletados através de simulações, do software SINALGO (Simulator for Network Algorithms), que demonstram a eficácia da abordagem proposta, que chamaremos de BeeAODV (*Bee Ad-Hoc On Demand Distance Vector*). Esta abordagem identificou uma redução de considerável nas trocas de mensagens quando comparado com algoritmo AODV (*Ad-Hoc On Demand Distance Vector*).**

## I. INTRODUÇÃO

Os sistemas de automação industrial atuais são tipicamente caracterizados por um elevado grau de

distribuição espacial. Devido à complexidade das operações de produção, soluções que ajudem a melhorar a produtividade e a eficiência desses sistemas são desafios existentes na área e considerados de suma importância. No chão de fábrica, por exemplo, há uma tendência clara para a integração de redes de sensores sem fio (RSSF) com clássicas tecnologias com fios, sendo esta uma abordagem interessante para mudar gradativamente o sistema para uma solução sem fio global [1]. O uso de RSSF para monitorar e controlar aplicações industriais apresenta algumas vantagens, como: facilidade de implantação e configuração, controle à distância e redução de custos em manutenção de infraestrutura. Entretanto, a disposição física de equipamentos de grande porte e seus padrões de funcionamento tornam o ambiente muito hostil para as características de uma RSSF, podendo os nodos apresentar um grande número de falhas, o que torna as suas medições não confiáveis [2]. Outro ponto a ser analisado é o fato de que em ambientes industriais as redes sem fio que operam na faixa de 2.4 GHz são altamente utilizadas, interferindo diretamente no processo de transmissão das RSSF. De acordo com [3] em redes RSSF de grande e densa escala, pode-se utilizar técnicas de fusão de dados competitivas. A técnica descrita por [4] estabelece que nem todos os nodos precisam operar ao mesmo tempo, assim sendo possível desligar os módulos de rádio quando os nodos estão devidamente configurados e em estado de sono, aumentando por consequência o tempo de vida da RSSF e reduzindo o uso do canal de comunicação. Aplicações de tempo real necessitam o monitoramento constante dos eventos ocorridos no ambiente para uma rápida tomada de decisão, mas o grande número de mensagens trocadas entre

todos os nodos gera colisões e falhas de comunicação, interferindo diretamente no desempenho da RSSF, conforme descrito em [5]. A abordagem deste trabalho objetiva a redução de consumo de energia, introduzindo a ideia de nodos móveis, utilizando técnicas de algoritmos bio-inspirados e simulando o funcionamento de uma colmeia de abelhas, nos quais nodos móveis podem coletar os dados do ambiente e transportá-los para uma estação-base, reduzindo o consumo de energia e mantendo a eficiência do envio das mensagens. Este artigo está organizado da seguinte maneira. A seção 2 caracteriza o problema; a seção 3 apresenta uma contextualização a respeito dos principais tópicos deste trabalho; a seção 4 apresenta a proposta do modelo de organização baseado em colônias de abelhas; a seção 5 apresenta resultados e discussões; e, por fim, a seção 6 conclui o artigo.

## II. DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

### A. Redes de Sensores sem Fio Móveis

As Redes de Sensores sem Fio Móveis (RSSFM) são uma alternativa interessante para driblar o reduzido alcance de comunicação dos nodos de uma RSSF. Entretanto, as RSSFM baseiam-se em roteamento e uma elevada troca de mensagens para manter a conectividade entre os nodos. Em [6] os autores apresentam o BeeAdHoc, um algoritmo de roteamento para redes móveis *ad hoc*. Ele é inspirado nos princípios de funcionamento de uma colônia de abelhas e utiliza principalmente dois tipos de agentes, olheiros e forrageiras, para fazer o roteamento em redes móveis *ad hoc*. Trata-se de um algoritmo de roteamento reativo e que consome menos energia em comparação com algoritmos de roteamento existentes na literatura porque utiliza menos pacotes de controle para fazer o roteamento. Os resultados apresentados em [7] demonstram que o BeeAdHoc consome menos energia em comparação com o Dynamic Source Routing (DSR) [8] [9], o AODV [10] e o Destination-Sequenced Distance Vector routing (DSDV) [11]. Quando comparados os ganhos do BeeAdHoc com o AODV, percebe-se que há uma melhora de desempenho. Uma comparação entre os protocolos mais utilizados em RSSF foi apresentada em [12]. Entretanto, esse ganho de desempenho pode ser ampliado com a proposta de auto-organização de RSSFM inspirada em colônia de abelhas que será apresentada neste artigo. Ela mantém o desempenho da rede, reduzindo o número de mensagens trocadas entre os nodos, o que a torna mais eficaz por reduzir aproximadamente 30% de mensagens trocadas. A solução ainda reduz o consumo de energia geral da RSSFM.

### B. Escopo para Aplicação

Atualmente, as usinas e produtores de cana-de-açúcar em todo o Brasil têm um acordo com os órgãos ambientais para eliminar queimada de cana até o ano de 2017[13]. No estado de São Paulo foi firmado que este prazo seria antecipado para o ano de 2014[14]. Em caso de queimada, após estes prazos e sem prévio conhecimento das entidades reguladoras competentes, a empresa ou arrendatário responsável pela área queimada pode ser obrigado a pagar severas multas. Entretanto,

em alguns casos, devido à cultura produzir muita palha, a qual é um excelente combustível, ocorrem incêndios não planejados e muitas vezes criminosos. Estas multas são altíssimas dependendo da área afetada, e se o incêndio se propagar para áreas de preservação ambiental (parques, áreas de preservação permanente, reservas legais, etc.), os valores se tornam astronômicos. A propagação do incêndio é muito rápida nesse tipo de cultura. Áreas de 20.000 m<sup>2</sup> queimam em menos de trinta minutos, portanto quanto antes esse incêndio for identificado, menor será a área queimada e menor será o prejuízo para a empresa, tanto financeiro quanto "jurídico." No cultivo de cana-de-açúcar, áreas de 10.000 a 50.000 m<sup>2</sup> são consideradas pequenas e, a partir disto, até 500.000 m<sup>2</sup> são áreas médias. Os testes realizados neste trabalho consideram áreas de 180.000 m<sup>2</sup>.

## III. TRABALHOS RELACIONADOS

Para amenizar o problema de falta de confiabilidade em RSSF, uma nova linha de pesquisa está sendo conduzida no campo de mobilidade destas redes. As RSSFM baseiam-se em roteamento e uma elevada troca de mensagens para manter a conectividade entre os nodos. Assim, caso um nodo apresente problemas (como danos físicos, interferência no meio de comunicação ou falta de bateria) e não possa mais realizar sua tarefa na rede, os demais nodos podem reorganizar seu posicionamento suprimindo a ausência do nodo falho. Diversos projetos estão sendo conduzidos nesta área. Pode-se notar que o campo de aplicações de RSSFM é mais amplo que o de redes estáticas, e com isso, surgiram novos desafios para o aperfeiçoamento desta tecnologia, entre eles, a necessidade de acrescentar um algoritmo de mobilidade, minimizar o consumo de energia (já que nodos móveis consomem mais bateria que nodos fixos) e sincronizar os dados coletados [15]. Um dos maiores desafios a serem vencidos é a eficiência nas trocas de mensagens entre os nodos e as estações de base. Para isso novos protocolos de transmissão de dados estão sendo elaborados e pesquisados, propondo soluções para garantir esta eficiência e a segurança da comunicação. Algoritmos como o AODV estão sendo elaborados para a busca da eficiência energética para realização desta comunicação, conforme demonstrado em [10] e [16]. Algoritmos bio-inspirados, mais precisamente em relação à comunicação entre insetos de colônias como abelhas e formigas [17] [18], são vistos como possíveis soluções para a comunicação entre RSSFM [19], pois se inspiram nestes insetos para buscar a comunicação de forma eficiente entre os integrantes da rede para que estes se mantenham ativos e prosperem. Pode-se citar o Artificial Bee Colony (ABC) [20] e o Ant Colony Algorithm (ACA) [16] como exemplos de algoritmos bio-inspirados que aperfeiçoam a comunicação entre os nodos móveis. Uma pesquisa relacionando o protocolo de roteamento AODV em relação ao funcionamento de uma colônia de abelhas e seu sistema de forrageamento, gerou o algoritmo BeeAdHoc [6]. Este algoritmo consome menos energia que o AODV tradicional e outros algoritmos encontrados na literatura, como o DSDV e o DSR, pois utiliza menos pacotes de controle para realizar o roteamento.

## IV. DESCRIÇÃO DO ALGORITMO

O modelo de organização de RSSFM apresentado neste projeto é inspirado no funcionamento hierárquico de uma colônia de abelhas. Na natureza, as abelhas organizam-se em diferentes funções na colmeia. Nesta proposta, adotam-se três diferentes funções: a rainha, as atendentes e as exploradoras. Na Figura 1 está ilustrada uma visão geral do modelo de organização proposto para a rede. Em uma relação análoga, a estação-base fixa atua como a rainha, a área dos atendentes equivale ao espaço da colmeia e os nodos desta área correspondem às abelhas atendentes. A área de busca corresponde à região em que as abelhas exploradoras buscam alimento para a colmeia. No modelo de organização proposto, quando um nodo precisa transmitir uma informação (“alimento”), este nodo envia uma mensagem destinada à estação-base. Esta mensagem é então transmitida entre os nodos exploradores até que seja recebida por um nodo atendente. O nodo atendente que receber a mensagem a enviará para a estação-base.

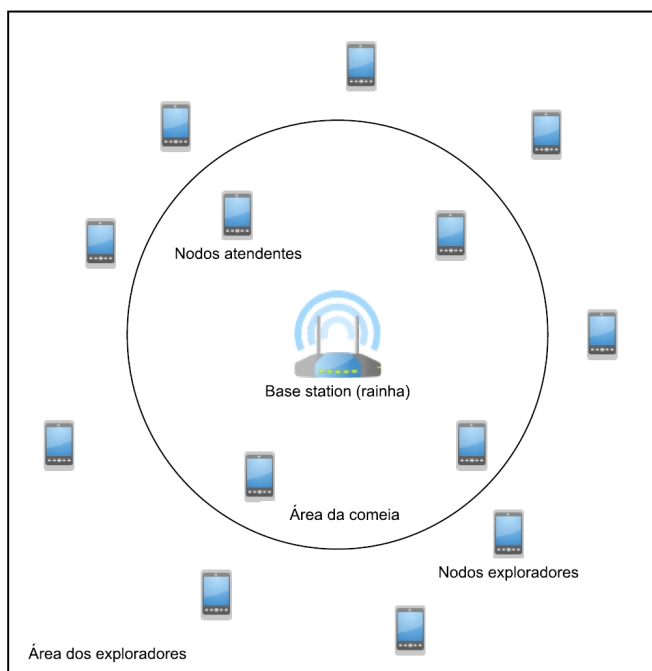


Figura 1: Visão geral do modelo de organização proposto para a rede.

Para enviar a mensagem para a estação-base, o nodo precisa ter a informação de qual é o melhor caminho até ela. Para isso, a rede utiliza o algoritmo de roteamento AODV (RFC 3561). No algoritmo AODV, quando um nodo precisa achar um caminho até outro nodo da rede, ele envia uma mensagem do tipo *Route Request* (RREQ) em *broadcast*. Os nodos que recebem essa mensagem a retransmitem até que a mensagem seja recebida pelo nodo de destino. Quando o nodo de destino recebe o RREQ, ele transmite uma mensagem do tipo *Route Reply* (RREP) em *unicast* de volta ao nodo de origem, sendo retransmitida de volta pelo caminho que a mensagem RREQ percorreu do nodo de origem até o de destino. Essas mensagens de reconhecimento de rota são chamadas de “*Hello Messages*”. Entretanto, em redes com um grande número de nodos móveis, o uso do algoritmo AODV pode ocasionar o fenômeno conhecido como *Broadcast Storm*. Trata-se de uma situação em que vários nodos estão

suficientemente próximos entre si para manter uma conexão em malha, causando um envio excessivo e redundante de mensagens, comprometendo o bom desempenho da rede e o consumo de bateria dos nodos. Para evitar este tipo de problema, implementou-se um ajuste na potência de transmissão baseado na densidade de nodos da rede. Quanto maior o número de nodos por metro quadrado, maior é a probabilidade de ocorrer o *Broadcast Storm*. Dessa forma, conforme a densidade de nodos aumenta, a potência de transmissão é diminuída. Esse ajuste de potência é dado pela distância inicial entre dois nodos na distribuição inicial e um valor  $k$  a ser ajustado, sendo que quanto maior o valor de  $k$ , maior será o número de mensagens enviadas e menor será o tempo médio que cada nodo fica sem conexão com a base. A potência de transmissão é calculada conforme o demonstrado:

$$Dt = d \cdot k \quad (1)$$

A Equação (1) mostra o cálculo utilizado para ajustar a potência, onde  $Dt$  é a distância de transmissão,  $d$  é a distância entre os nodos na distribuição inicial e  $k$  é a constante de ajuste. O Algoritmo 1 demonstra como ocorre a execução geral da rede, desde a configuração inicial até o algoritmo BeeAODV propriamente dito.

```

Ler k;
Nodos são dispostos na distribuição inicial;
Ajustar potência de transmissão;
nodo[0] = Rainha;
PARA (n = 1 ATÉ n < número de nodos; n++ A CADA EXECUÇÃO)
{
SE: distância (entre nodo[n] E Rainha) < alcance transmissão
ENTÃO: nodo[n] = Nodo Atendente;
SENÃO: nodo[n] = Explorador;
}
ENQUANTO (Rede em execução)
{
PARA (n = 1 ATÉ n < número de nodos; n++ A CADA EXECUÇÃO)
{
SE: (tempo_de_existência_tabela_de_rotamento > 1 segundo)
    Enviar mensagens Hello;
SENÃO
{
SE (nodo[n] detecta alteração no ambiente)
    ENTÃO: nodo[n] envia mensagem com destino à rainha;
}
}
}

```

Algoritmo 1: Funcionamento do algoritmo BeeAODV.

## V. METODOLOGIA

Para a avaliação da eficiência do algoritmo foram realizadas simulações utilizando o software SINALGO. Os testes foram realizados em uma área retangular simulada de 300 x 600 m, totalizando uma área de 180.000 m<sup>2</sup> com a estação-base localizada no centro. O módulo de comunicação adotado nas simulações foi o XBee, o qual utiliza o protocolo de comunicação IEEE 802.15.4. Quando ajustado à potência máxima, o mesmo atinge um alcance de transmissão de aproximadamente 90 m. Os nodos foram dispostos

inicialmente em uma distribuição em grade e efetuou-se uma análise para determinar o melhor algoritmo de mobilidade a ser adotado. Os testes objetivaram comparar os algoritmos RANDOM WAY POINT (RWP) e RANDOM DIRECTION (RD) e, em seguida, foi realizada uma comparação entre o algoritmo AODV tradicional e o modelo de organização proposto neste artigo. Finalmente foram realizados testes com diferentes ajustes de potência de transmissão. Além da estação-base que esteve presente em todos os testes, foram simulados casos com 50, 75, 100, 125, 150 e 200 nodos. Cada simulação durou 5 minutos. Os dados coletados foram o número de mensagens totais transmitidas e o tempo no qual o nodo permaneceu sem comunicação com a base. Para ajustar a potência de transmissão de modo a reduzir o excessivo número de mensagens trocadas entre nodos muito próximos uns aos outros, foi efetuado um cálculo baseado na distância entre um nodo e outro na distribuição inicial e um valor  $k$ . Os valores de  $k$  utilizados nos testes foram de 1,5 / 1,75 / 2,0 / 2,25 / 2,5. As “Hello Messages” foram enviadas de 1 em 1 segundo.

## VI. RESULTADOS OBTIDOS

Com a quantidade de nodos idêntica nos testes, identificou-se que, inicialmente, com um número reduzido de nodos, a quantidade de mensagens de “Hello” é muito próxima para os dois algoritmos. Entretanto, conforme a quantidade de nodos é aumentada, o modelo de mobilidade RD se torna mais eficiente, conforme demonstrado na Figura 2, enviando menos mensagens e, assim, obtendo uma significativa redução de consumo de energia.

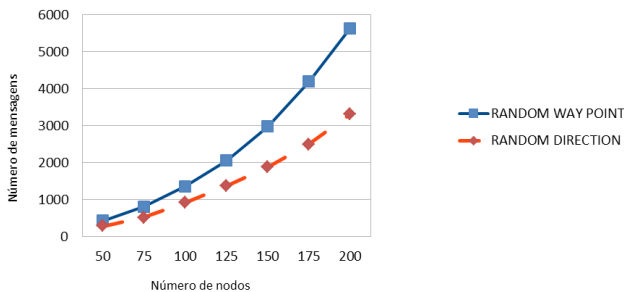


Figura 2. Número de mensagens “Hello” enviadas por nodo.

O tempo de conexão entre os nodos e a estação-base pode ser verificado na Figura 3, onde o algoritmo RD é mais eficiente quando os nodos são em menor número. A partir de 150 nodos o comportamento da comunicação se torna praticamente idêntica quando comparada ao RWP.

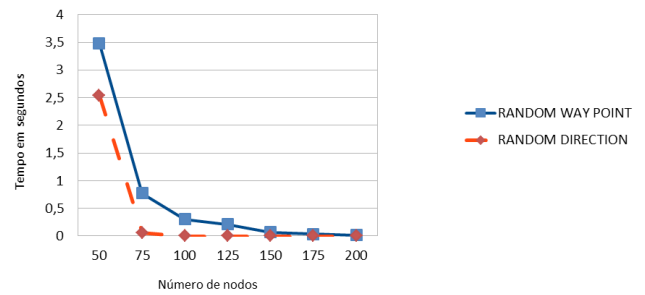


Figura 3. Tempo que o nodo fica sem comunicação com a base.

Na Figura 4 observa-se a influência do valor de  $k$ , que é escolhido arbitrariamente pelo usuário da rede, no número de mensagens “Hello” que são enviadas.

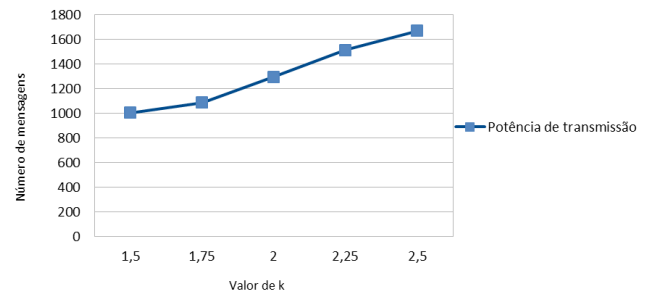


Figura 4. Número de mensagens “Hello” enviadas por nodo.

Também foi simulada a influência do valor  $k$  no tempo em que um nodo fica sem conexão com a base, conforme demonstrado na Figura 5.

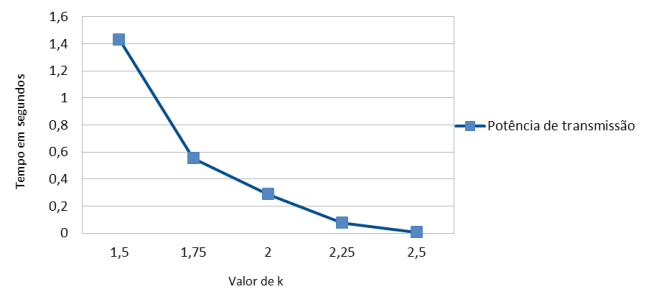


Figura 5. Simulação do tempo em que o nodo fica sem comunicação com a base.

Portanto, os resultados demonstram que para uma rede mais confiável, onde o tempo em que cada nodo fica sem comunicação com a base é próximo a zero, deve-se escolher um maior valor para  $k$  e, conseqüentemente, haverá um maior número de mensagens sendo trocadas entre os nodos. Na Figura 6 tem-se o desempenho da proposta do modelo de organização BeeAODV comparado ao AODV comum, onde pode-se observar que o desempenho com uma quantidade de nodos menor é quase idêntica, mas conforme ocorre o aumento de nodos o protocolo BeeAODV se torna mais eficiente, enviando uma menor quantidade de mensagens.

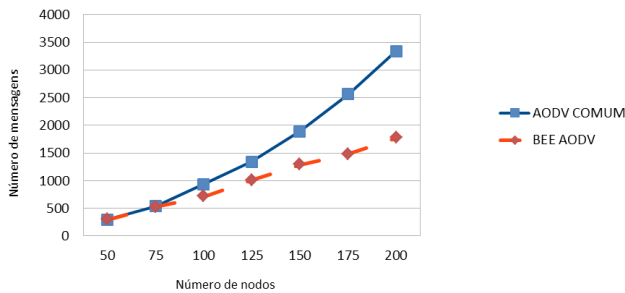


Figura 6. Comparação do número de mensagens de “Hello” trocadas (AODV e BeeAODV).

Alguns nodos podem ficar sem comunicação com a estação-base durante certo período de tempo, pois, devido à redução da potência de transmissão, estes nodos não estarão suficientemente próximos a um nodo vizinho para rotear as mensagens até a estação-base. O tempo médio que cada nodo fica sem comunicação com a estação-base pode ser analisado na Figura 7. O algoritmo proposto BeeAODV mantém uma certa estabilidade independentemente da quantidade de nodos, enquanto que a confiabilidade do AODV comum tende a 100% conforme o número de nodos é aumentado, pois é operado com potência máxima de transmissão.

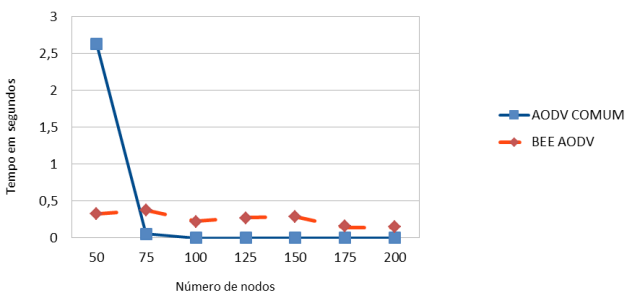


Figura 7. Comparativo de tempo em que o nodo fica desconectado da estação-base entre os protocolos AODV e BeeAODV.

Por fim, na Figura 8 está ilustrado que, estatisticamente, o protocolo BeeAODV é mais estável nas trocas de mensagens “Hello”, quando comparado ao AODV comum. O desvio padrão do número de mensagens nas simulações é significativamente menor no modelo BeeAODV.

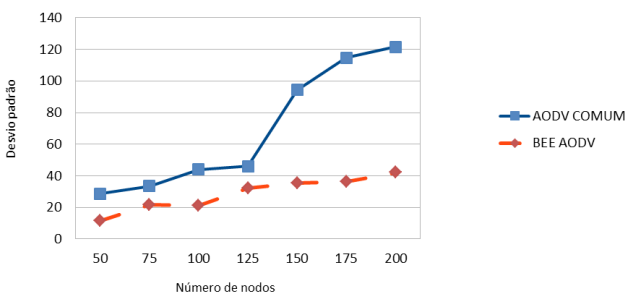


Figura 8. Desvio padrão do número de mensagens “Hello” enviadas nas simulações.

Os resultados das simulações permitem perceber que houve uma significativa redução no número de mensagens geradas pela rede. Consequentemente, isto afeta positivamente o desempenho da rede e sua vida útil, pois com um menor número de mensagens trafegando pela rede, o consumo de energia dos nodos é menor. Devido também à redução da potência de transmissão dos nodos que é proposta no algoritmo, o consumo de energia da rede é ainda menor, sem comprometer sua confiabilidade. A proposta do algoritmo BeeAODV vai ao encontro das pesquisas atuais na área de RSSF, que busca maximizar o seu tempo útil de operação. O BeeAODV demonstrou-se um algoritmo estável, pois seus resultados são muito similares todas as vezes em que é executado, diferentemente dos testes realizados com o AODV comum, que divergem muito entre si devido à diferente mobilidade dos nodos em cada execução.

#### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem às instituições onde desenvolvem suas pesquisas pelo apoio na produção deste trabalho (IFSP – Campus Catanduva, ICMC/USP São Carlos, UFSC e UNESP São José do Rio Preto) e também ao apoio financeiro fornecido pela FAPESP (Processo nº 2012/16171-6).

#### REFERÊNCIAS

- [1] G. Cena, A. Valenzano, and S. Vitturi, “Wireless extensions of wired industrial communications networks,” *Ind. Informatics*, 2007 5th ..., pp. 273–278, 2007.
- [2] V. Gungor and G. Hancke, “Industrial wireless sensor networks: Challenges, design principles, and technical approaches,” *Ind. Electron. IEEE* ..., vol. 56, no. 10, pp. 4258–4265, 2009.
- [3] W. Elmenreich, “Sensor fusion in time-triggered systems,” no. 9226605, 2002.
- [4] D. Tian and N. Georganas, “A coverage-preserving node scheduling scheme for large wireless sensor networks,” ... *Work. Wirel. Sens. networks* ..., pp. 32–41, 2002.
- [5] A. H. Ab.Halim and K. Zen, “MAC protocol to reduce packet collision in wireless sensor network,” in *2008 International Conference on Computer and Communication Engineering*, 2008, pp. 1290–1293.
- [6] H. Wedde and M. Farooq, “BeeAdHoc: an energy efficient routing algorithm for mobile ad hoc networks inspired by bee behavior,” *Proc. ...*, pp. 153–160, 2005.
- [7] H. F. Wedde, M. Farooq, T. Pannenbaecker, B. Vogel, C. Mueller, J. Meth, and R. Jeruschkat, “BeeAdHoc,” in *Proceedings of the 2005 conference on Genetic and evolutionary computation - GECCO '05*, 2005, p. 153.
- [8] D. B. Johnson and D. A. Maltz, “DSR: The Dynamic Source Routing Protocol for Multi-Hop Wireless Ad Hoc Networks,” pp. 1–25.
- [9] A. Cavalli, C. Grepert, S. Maag, and V. Tortajada, “A validation model for the DSR protocol,” in *24th International Conference on Distributed Computing Systems Workshops, 2004. Proceedings.*, 2004, pp. 768–773.
- [10] T. Sundararajan, “A novel survey towards various energy models with Ad Hoc on Demand Distance Vector Routing Protocol (AODV),” ... *Energy* ..., no. June, pp. 1–5, 2009.
- [11] K. U. R. Khan, R. U. Zaman, A. V. Reddy, K. A. Reddy, and T. S. Harsha, “An Efficient DSDV Routing Protocol for Wireless

- Mobile Ad Hoc Networks and its Performance Comparison,” in *2008 Second UKSIM European Symposium on Computer Modeling and Simulation*, 2008, pp. 506–511.
- [12] E. M. Royer, “A review of current routing protocols for ad hoc mobile wireless networks,” *IEEE Pers. Commun.*, vol. 6, no. 2, pp. 46–55, Apr. 1999.
- [13] “LEI N. 11.241, DE 19 DE SETEMBRO DE 2002 - Lei Estadual\_11241\_2002.pdf.” [Online]. Available: [http://www.sigam.ambiente.sp.gov.br/sigam2/Repositorio/24/Documentos/Lei Estadual\\_11241\\_2002.pdf](http://www.sigam.ambiente.sp.gov.br/sigam2/Repositorio/24/Documentos/Lei%20Estadual_11241_2002.pdf). [Accessed: 16-Jul-2014].
- [14] “Safrá 2014/2015 marca o fim da queima da cana no Estado de São Paulo - 17/02/2014 - Ribeirão Preto - Cotidiano - Folha de S.Paulo.” [Online]. Available: <http://www1.folha.uol.com.br/cotidiano/ribeiraopreto/2014/02/1413167-safrá-20142015-marca-o-fim-da-queima-da-cana-no-estado-de-sao-paulo.shtml>. [Accessed: 16-Jul-2014].
- [15] J. Yick, B. Mukherjee, and D. Ghosal, “Wireless sensor network survey,” *Comput. Networks*, vol. 52, no. 12, pp. 2292–2330, Aug. 2008.
- [16] J. Hong, S. Lu, D. Chen, and J. Cao, “Towards bio-inspired self-organization in sensor networks: applying the ant colony algorithm,” ... *Inf. Netw.* ..., pp. 1054–1061, 2008.
- [17] M. Farooq and G. A. Di Caro, “Routing Protocols for Next Generation Networks Inspired by Collective Behaviors of Insect Societies: An Overview \*,” *Swarm Intell. Introd. Appl.* Springer, 2008.
- [18] K. Aksa and M. Benmohammed, “A Comparison Between Geometric and Bio-Inspired Algorithms for Solving Routing Problem in Wireless Sensor Network,” *Int. J. Networks Commun.*, vol. 2, no. 3, pp. 27–32, Aug. 2012.
- [19] F. Dressler and O. B. Akan, “A survey on bio-inspired networking,” *Comput. Networks*, vol. 54, no. 6, pp. 881–900, 2010.
- [20] A. Bhawan, N. Delhi, M. Gwalior, M. L. Road, and M. Pradesh, “Artificial bee colony algorithm : a survey Jagdish Chand Bansal Harish Sharma \* and Shimpi Singh Jadon,” vol. 5, pp. 123–159, 2013.