

Avaliação da micro Conectividade de uma Rede de Sensores Sem Fio com Protocolo Dormir/Acordar

Felipe da Rocha Henriques, Lisandro Lovisoló e Marcelo Gonçalves Rubinstein

Resumo—A economia de energia em Redes de Sensores Sem Fio (RSSFs) é uma questão de suma importância, já que cada nó é alimentado por uma bateria, que tem um tempo de vida limitado. Portanto, conservar a energia dos nós implica em aumentar a autonomia da rede. Neste trabalho uma RSSF é usada para monitorar um campo c , para esse fim, utiliza-se um algoritmo de economia de energia, baseado em um protocolo dormir/acordar. No algoritmo considerado, os nós precisam gerenciar as tarefas por eles executadas de monitoramento e comunicação, além de poderem dormir e encaminhar pacotes advindos de nós vizinhos. Assim, uma métrica é proposta para investigar o impacto dos períodos de inatividade dos nós na conectividade da rede e verificar a possibilidade de perda de pacotes, caso os nós estejam dormindo. Além disso, um fator de redução de tempo de dormir γ é considerado para aumentar a probabilidade de um nó estar acordado para realizar os encaminhamentos. Para a análise, simulações são realizadas e verifica-se que um valor de $\gamma = 0,5$ pode ser usado sem que haja perda significativa na conectividade da rede.

Palavras-Chave—Redes de Sensores Sem Fio, conectividade.

Abstract—Energy conservation in Wireless Sensor Networks (WSN) is an important issue because each node is supplied by a battery, that has a limited lifetime. Thus, saving nodes energy leads to an increase in the autonomy of the network. In this work a WSN is used to sense a field, and, for this purpose, a energy saving algorithm is used, based on a sleep/wakeup protocol. In the considered algorithm, nodes has to manage their sensing and communication tasks, and they can sleep and forward packets from their neighbors. Thus, a metric is proposed in order to investigate the impact of the inactivity periods of nodes in the network connectivity, and also verify the possibility of the occurrence of packets loss, when nodes are sleeping. Furthermore, a sleeping period reduction factor γ is considered to increase the probability of a given node to be awoken to perform the forwarding. For the analysis, simulations are made, and it can be verified that a value of $\gamma = 0.5$ can be used without significant lost in the network connectivity.

Keywords—Wireless Sensor Networks, connectivity.

I. INTRODUÇÃO

Comunicações sem fios têm se tornado onipresentes. A procura por mobilidade, a facilidade de implantação de redes sem fio e a não dependência de infra-estrutura são algumas das suas vantagens. Esse tipo de rede pode ser classificada genericamente da seguinte forma: infra-estruturada, quando seus dispositivos finais estão associados a uma estação base; caso contrário, tem-se uma rede *ad hoc*, em que seus nós

podem trocar informações diretamente, sem a necessidade de um gerenciamento realizado por meio de estação base [1].

Um tipo de rede *ad hoc* que tem despertado grande interesse atualmente é a Rede de Sensores Sem Fio (RSSF) [1]. Nas RSSFs, seus nós são compostos por sensores capazes de coletar dados do ambiente, tais como temperatura, pressão e umidade, comunicar-se entre si, e transmiti-los até um nó destino, ou sorvedouro. Além de poderem capturar dados ambientais (unidade de sensoreamento), os nós de uma RSSF também possuem outras três unidades básicas: uma unidade de processamento, uma de comunicação, para as tarefas de transmissão e recepção e uma unidade de energia, capaz de alimentar as anteriores. Dessa forma, os nós sensores são autônomos, no sentido de poderem se auto-configurar, coletar e transmitir dados, com o auxílio de uma bateria [2].

Diversas são as possíveis aplicações das RSSFs, como na área militar, para o monitoramento de tropas inimigas; na área médica, para o monitoramento de dados biométricos de pacientes; na automação industrial e residencial; no monitoramento de áreas como cavernas ou florestas. A aplicação descrita neste trabalho está relacionada com o uso de uma RSSF para monitoramento de um campo que é função da posição espacial dos nós e do tempo.

Uma das questões importantes acerca das RSSFs é a impossibilidade da troca da bateria de seus nós, quando acaba sua energia. Isso se dá pois, em geral, os nós são dispostos em regiões de pouco acesso, como o interior de uma caverna, por exemplo. Desta maneira, deve-se buscar meios de aumentar a autonomia da rede, com estratégias para economizar a energia dos nós, para que se possa usar a RSSF por um período de tempo prolongado. Segundo [2], a tarefa que mais consome energia em um nó sensor é a comunicação de dados. Portanto, deve-se processar os dados, de modo a reduzir a quantidade de informação a ser transmitida e, assim, economizar energia.

Em [3], um conceito de inovação é usado para que os nós possam gerenciar a necessidade de transmissão. Dessa forma, um dado nó sensor somente transmite uma amostra medida caso a variação percentual entre essa amostra e a anteriormente transmitida seja maior do que um limiar predefinido. Logo, só as medidas inovadoras, ou seja, com uma certa quantidade de informação relevante são transmitidas. Com isso, verificou-se uma redução significativa na quantidade de transmissões, o que levou a uma conservação de energia e a um consequente aumento no tempo de vida da rede, definido como o intervalo de tempo decorrido até que a energia do primeiro nó sensor acabe [4]. Além disso, os nós podem dormir, ou entrar em um estado de inatividade [5] entre transmissões inovadoras, aumentando ainda mais a economia de energia.

*Felipe da Rocha Henriques, Lisandro Lovisoló e Marcelo Gonçalves Rubinstein, Faculdade de Engenharia, Programa de Pós-graduação em Engenharia Eletrônica (PEL), Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, *Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca - Unidade Petrópolis, Rio de Janeiro, Brasil. E-mails: *henriques-felipe@yahoo.com.br, lisandro@uerj.br, rubi@uerj.br

A. Protocolos dormir/acordar

Em [6], os autores fazem uma revisão no estado da arte de métodos de economia de energia em RSSF, incluindo uma taxonomia para classificação dos mesmos. Uma das classificações apresentadas em [6], que está relacionada com o problema descrito neste trabalho, trata de protocolos dormir/acordar, e os descreve em três tipos: os protocolos sob demanda, os *rendezvous*, e os assíncronos. Nos protocolos sob demanda, um dado nó permanece dormindo, economizando energia, até que um outro nó necessite comunicar-se com ele. Dessa forma, um problema inerente a esse mecanismo é como informar ao nó que está dormindo que ele deve acordar. Uma das possíveis soluções é a utilização de dois canais de comunicação: um para a troca de dados e outro para que ele possa ser acordado. Portanto, o nó poderia ter um rádio com dois canais. Outra possibilidade é a utilização de dois rádios, como em [7]. Os protocolos chamados de *rendezvous* usam o princípio simples de que um dado nó deve acordar ao mesmo tempo que seus vizinhos, portanto de forma síncrona. Normalmente, os nós acordam periodicamente e permanecem nesse estado trocando informações por um período de tempo previamente acordado. O principal problema desse tipo de esquema é que se faz necessário que os relógios dos nós estejam sincronizados, o que não é algo trivial. Um exemplo do uso desse protocolo pode ser visto em [8]. Por fim, nos protocolos assíncronos, cada nó pode acordar de forma autônoma, independentemente dos seus vizinhos. O algoritmo proposto em [3] usa um protocolo dormir/acordar assíncrono, em que cada nó dorme entre transmissões inovadoras. Em [9], um protocolo dormir/acordar é proposto, em que o coordenador da rede envia periodicamente um quadro de *beacon* com um comando de dormir. Esse é um exemplo de protocolo *rendezvous*, onde os nós tornam-se inativos de maneira síncrona. Além disso, esse é um protocolo centralizado no coordenador. Um algoritmo assíncrono, mas centralizado no coordenador foi proposto em [10]. Nesse protocolo, o sorvedouro calcula o tempo de dormir dos nós a partir das amostras recebidas por ele e envia uma mensagem para que eles entrem no estado inativo.

B. Objetivo

Neste trabalho, uma RSSF é usada para monitorar uma região e amostras medidas pelos nós sensores são enviadas ao sorvedouro, que tem a tarefa de reconstruir o processo sensoreado. Com o objetivo de economizar energia, um algoritmo, proposto em [11], é usado. Nesse algoritmo, cada nó estima seu período de inatividade baseado na taxa de variação do processo medido e nas informações por eles transmitidas. Assim como em [3], os nós apenas transmitem amostras inovadoras, de modo a economizar energia. Além disso, o algoritmo usa um protocolo dormir/acordar assíncrono.

Cada nó da rede atua como fonte de informação, na medida que mede amostras do processo, e também como roteador, quando encaminha pacotes de seus vizinhos até o sorvedouro. Daí surge o problema estruturado neste trabalho: a avaliação da conectividade da rede quando os nós têm que gerenciar suas tarefas de dormir e encaminhar pacotes dos seus vizinhos. De

modo a realizar essa avaliação, uma métrica é proposta para investigar a conectividade entre os nós da rede, a Taxa de Sucesso na entrega de pacotes.

C. Organização

O restante deste trabalho está organizado da seguinte forma: na Seção II, é apresentado o algoritmo de economia de energia considerado neste trabalho; na Seção III, apresenta-se a métrica proposta para avaliar a conectividade entre os nós; o modelo de energia usado e os aspectos de simulação são descritos na Seção IV; na Seção V, os principais resultados do trabalho são apresentados; a Seção VI apresenta as conclusões do trabalho.

II. ALGORITMO DE ECONOMIA DE ENERGIA USADO

Neste trabalho, considera-se uma RSSF para o monitoramento de um campo, modelado como uma função que depende da posição (x e y) e do tempo (t), portanto $f(x, y, t)$. De modo a aumentar a autonomia da rede e, conseqüentemente, possibilitar um monitoramento por um período de tempo maior, um algoritmo de economia de energia é empregado na camada de aplicação de cada nó sensor. O algoritmo usado foi proposto pelos autores deste trabalho em [11] e será brevemente descrito nesta seção.

De uma forma geral, no algoritmo em questão, cada nó sensor S_i mede amostras do processo $f(x_i, y_i, t)$, mas não transmite todas elas, apenas aquelas consideradas inovadoras. Além disso, os nós entram em um estado de inatividade - economia de energia - entre transmissões. Na recepção, o sorvedouro reconstrói o processo, a partir das amostras por ele recebidas. Logo, a partir da taxa de variação do processo medido, os nós estimam o intervalo de tempo até a próxima amostra inovadora a ser transmitida, isto é, seu período de inatividade, ou seja, por quanto tempo ele irá dormir. Com isso, garante-se que o erro de reconstrução do processo monitorado em x_i, y_i seja menor do que um dado limiar previamente determinado, ou seja, $\varepsilon \leq \delta$, onde ε é o erro de reconstrução e δ é o limiar.

Um nó S_i , que transmite amostras $x_i(n)$ para o sorvedouro S_r , estima o tempo que decorrerá até uma futura amostra inovadora \hat{x}_{n+1} a partir das amostras anteriormente medidas e seus instantes de medida, e das amostras anteriormente transmitidas e seus instantes de transmissão. Isto é, o nó estima o seu período de inatividade PI_i . Como o objetivo deste trabalho não é a análise do algoritmo, mas a avaliação da conectividade da rede, não serão apresentados muitos detalhes acerca do estimador de períodos de inatividade. Em [11], o estimador de períodos de inatividades é apresentado mais detalhadamente.

Os passos do algoritmo de conservação de energia são apresentados no *Algoritmo 1*. Assim como em [3], antes do nó dormir, ele verifica se há mensagens de seus vizinhos a serem encaminhadas. Caso não haja mensagens a serem encaminhadas, o nó dorme por um período igual a $\gamma \times PI_i$. Caso contrário, o nó leva em consideração os períodos de inatividade de seus nós vizinhos, dormindo por um período $\gamma \times \min(PI_i, PI_k)$, $k \in S_{i,\#}$, em que cada PI_k representa

o período de inatividade de cada vizinho de S_i . O fator de redução de tempo de dormir γ ($0 < \gamma < 1$) é usado para aumentar a probabilidade do nó S_i estar acordado para encaminhar as mensagens de seus vizinhos, e é usado para avaliar a conectividade da rede. Além disso, no *Algoritmo 1*, n representa o “instante corrente” de medida ou de transmissão.

Algoritmo 1 Algoritmo de conservação de energia

```

n ← 1
IPi ← 0
while energiai > 0 do
  Si mede xi(n)
  if n = 1 then
    Si transmite xi(n)
  else
    Si transmite xi(n)
    Si calcula PIi usando a estimação linear
    if Si tem pacotes a encaminhar dos seus # vizinhos
    then
      Si transmite pacotes dos seus # vizinhos
      PIi = min(PIi, PIk), k ∈ Si,#
    end if
    Si dorme por PIi = γ × PIi segundos
    Si acorda após PIi segundos
  end if
  n ← n+1
end while

```

III. TAXA DE SUCESSO

A métrica Taxa de Sucesso, proposta neste trabalho, é definida pela equação (1), onde i é o índice do nó roteador S_i , $Q_i(j)$ é o j -ésimo pacote encaminhado para o nó S_r e $R_i(j)$ é o j -ésimo pacote recebido dos nós vizinhos pelo nó S_i , que deve ser encaminhado. Ela tem o intuito de avaliar a quantidade de pacotes que podem ser perdidos em um dado nó roteador S_i . A Taxa de Sucesso é a razão entre a quantidade de pacotes que o nó S_i tem que encaminhar para o nó sorvedouro S_r , e a quantidade de pacotes que ele recebe de seus vizinhos.

$$TS_i = \frac{\sum_{j=1}^N Q_i(j)}{\sum_{j=1}^N R_i(j)}. \quad (1)$$

A Taxa de Sucesso de S_i no encaminhamento dos pacotes de seus vizinhos varia com seu período de inatividade PI_i . Se S_i dorme por um período de tempo muito longo, de modo a economizar energia, isso pode levar a uma queda na Taxa de Sucesso, por uma possível perda de pacotes, afetando a conectividade da rede.

Como visto no *Algoritmo 1*, um nó S_i estima seu período de inatividade e dorme durante PI_i segundos. Para calcular PI_i , S_i usa informações sobre quanto tempo cada um de seus nós vizinhos estarão inativos, e um fator de redução de tempo de dormir γ ($0 < \gamma < 1$) é usado para aumentar a probabilidade desse nó estar acordado para realizar o encaminhamento. Logo, espera-se que a Taxa de Sucesso varie com γ .

Outra questão que deve ser investigada é influência da quantidade de nós vizinhos $\#(S_{\#})$ que usam S_i como rota

na Taxa de Sucesso. Portanto, podemos esperar que a Taxa de Sucesso possua um comportamento:

$$TS_i = g(\gamma, S_{\#}). \quad (2)$$

A Figura 1 apresenta um exemplo de topologia que pode ser usada para avaliar a Taxa de Sucesso, onde o nó S_1 encaminha pacotes de seus vizinhos $S_{1,4} = \{S_2, S_3, S_4, S_5\}$, para o sorvedouro S_r . Neste trabalho, para analisar a conectividade da rede, investigaremos os efeitos causados pela variação de γ e da quantidade de vizinhos que usam S_1 como rota na Taxa de Sucesso entre S_1 e S_r , e na Taxa de Entrega de Pacotes, definida como a razão entre a quantidade total de pacotes recebidos pelo sorvedouro e a quantidade total de pacotes transmitidos pelos nós da rede.

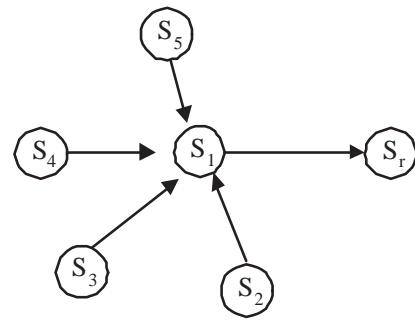


Fig. 1. Exemplo de topologia usada para avaliar a conectividade.

IV. AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO

Nesta seção são apresentados o modelo de energia usado no presente trabalho, assim como alguns aspectos acerca das simulações. O modelo de energia empregado nos nós sensores da rede é baseado em estados [11]. Nesse modelo, cada nó pode estar em um de dois estados: no estado inativo, em que os nós estão dormindo, logo economizando energia; ou no estado ativo. O estado ativo possui quatro modos de operação, cada qual referente a uma tarefa desempenhada pelos nós: um modo de medição, em que os nós medem amostras do ambiente; um modo de processamento, em que processa-se os dados medidos; além dos modos de transmissão e recepção. O modelo considera ainda o tamanho da carga útil do pacote a ser transmitido. O consumo de energia estimado, \hat{E}_C , definido pela equação (3) a seguir, é função do período de tempo em que um nó permanece em cada estado. Além disso, considera-se que o nó sorvedouro possui energia ilimitada, como uma estação base conectada a uma alimentação externa.

$$\hat{E}_C = t_I \times C_I + t_A \times C_A + t_M \times (C_A + C_M) + t_P \times (C_A + C_P) + t_R \times (C_A + C_R) + t_T \times (C_A + C_T), \quad (3)$$

em que t_I , t_A , t_M , t_P , t_R e t_T são os respectivos períodos de tempo em que cada nó permanece nos estados inativo, ativo e nos modos de medição, processamento, recepção e transmissão. Os consumos associados a cada estado e modo de operação são apresentados na Tabela I, assim como alguns outros parâmetros fixos de simulação.

Para realizar as simulações foi utilizado o TrueTime 1.5 [12], um ambiente de simulação baseado em Matlab/Simulink, e o padrão de rede sem fio considerado foi o IEEE 802.15.4 [13].

TABELA I
PARÂMETROS FIXOS DE SIMULAÇÃO.

Energia inicial do nó (J)	2
Potência de transmissão (dBm)	-5
Sensibilidade de recepção (dBm)	-66
Alcance do rádio (m)	40
C_I :Consumo no estado inativo (mJ/s)	1,80
C_A :Consumo no estado ativo (mJ/s)	10,00
C_M :Consumo no modo de medição (mJ/s)	18,00
C_P :Consumo no modo de processamento (mJ/s)	18,00
C_R :Consumo no modo de recepção (mJ/s)	62,40
C_T :Consumo no modo de transmissão (mJ/s)	58,62
Carga útil (Byte)	1

Neste trabalho, os nós sensores da rede monitoram um processo suave $f(x, y, t)$. Este processo é definido genericamente pela equação (4), em que m_x , m_y e m_t são as médias de x , de y e de t ; σ_x , σ_y e σ_t são os desvios padrão de x , de y e de t ; e C é uma constante. Os seguintes parâmetros foram considerados para o processo monitorado: as médias de x , y e t são $m_x = m_y = m_t = 40$, respectivamente; $\sigma_x = \sigma_y = \sigma_t = 20$ são os desvios padrão de x , y e t ; e $C = 5$ é uma constante.

$$f(x, y, t) = \left[e^{-\frac{(x-m_x)^2}{2\cdot\sigma_x^2}} + e^{-\frac{(y-m_y)^2}{2\cdot\sigma_y^2}} \right] \times \left[e^{-\frac{(t-m_t)^2}{2\cdot\sigma_t^2}} \right] + C \quad (4)$$

Para a obtenção de resultados, cada simulação é rodada dez vezes e um intervalo de confiança para a média de 95% é considerado, representado nos gráficos a serem apresentados por uma barra vertical. No algoritmo proposto em [11], considerou-se $\gamma = 0,5$. Neste presente trabalho, investigaremos o impacto da variação do fator γ na conectividade da rede.

Além disso, considera-se um limiar (δ) fixo de 1% [11], e os valores 0,1, 0,3, 0,5, 0,7 e 0,9 são usados para γ . No cenário de testes, usou-se o exemplo de topologia descrito pela Figura 1, em que o nó S_1 encaminha pacotes dos seus vizinhos para o sorvedouro S_r . Considerou-se os casos em que S_1 possui 1, 5 e 13 vizinhos.

V. RESULTADOS

Nesta seção são apresentados os resultados obtidos através das simulações, com o objetivo de se avaliar a conectividade da rede em duas perspectivas: uma micro, com a Taxa de Sucesso, do ponto de vista de cada nó roteador, e outra macro (de maneira global), com a Taxa de Entrega. As Figuras 2 e 3 mostram respectivamente a variação da Taxa de Sucesso e da Taxa de Entrega de Pacotes em função da variação de γ .

Com o aumento de γ , o nó S_1 dormirá por um período de tempo mais próximo ao período mínimo de inatividade de seus vizinhos. Logo, existe uma maior probabilidade de S_1 não encaminhar pacotes de seus vizinhos, já que ele pode estar dormindo por um período de tempo muito longo. Na Figura

2 pode-se verificar esse comportamento. Com o aumento de γ , observa-se uma queda na Taxa de Sucesso, porque S_1 pode estar dormindo por um período próximo ao mínimo calculado. Além disso, caso esse nó tenha que encaminhar pacotes de mais vizinhos, essa situação piora, o que pode ser visto na mesma figura. Pelas mesmas razões, pode-se observar na Figura 3 que o aumento de γ leva a uma redução na Taxa de Entrega de Pacotes, o que significa que a rede está perdendo conectividade.

Do ponto de vista global, a perda de pacotes que pode ser obtida a partir da Taxa de Entrega é a agregação das perdas de pacotes, em cada roteador, obtidas com a Taxa de Sucesso. Portanto, um comportamento já esperado pode ser observado nas Figuras 2 e 3, em que a Taxa de Entrega é sempre menor do que a Taxa de Sucesso.

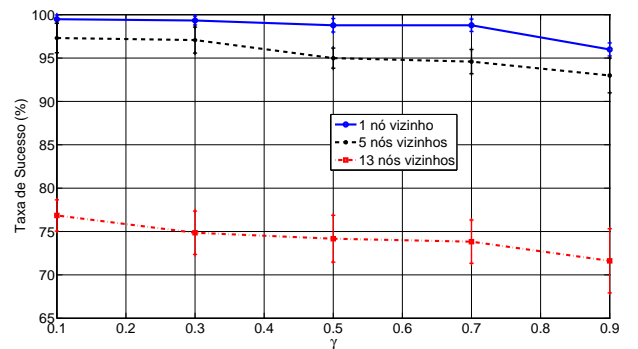


Fig. 2. Taxa de Sucesso \times γ para limiar de 1%.

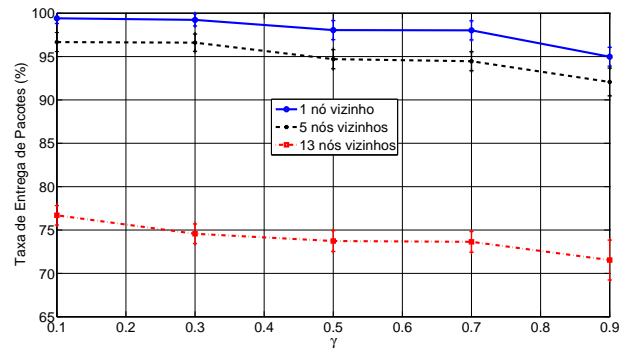


Fig. 3. Taxa de entrega de pacotes \times γ para limiar de 1%.

Assim como dito na Seção IV, em [11], considerou-se $\gamma = 0,5$. O uso desse valor pode ser justificado pelos resultados apresentados nas Figuras 2 e 3. Esses resultados mostram que usar o valor de 0,5 para γ não implica em grande redução nem na Taxa de Sucesso nem na Taxa de Entrega de Pacotes.

Neste trabalho considera-se um algoritmo de economia de energia, proposto em [11], para aumentar a autonomia a rede. Portanto, importa avaliar o impacto de γ na conservação de energia dos nós da rede. Considerando a topologia apresentada na Figura 1, por exemplo, o período de inatividade de S_1 , PI_1 é função dos períodos de inatividade de seus vizinhos e do fator γ , e pode ser definido pela equação (5) a seguir:

$$PI_1 = \gamma \times \min(PI_1, PI_k), k \in S_{1,4}. \quad (5)$$

Como neste trabalho valores entre 0 e 1 são considerados para γ , pode-se observar pela equação (5) que quanto menor for o valor de γ , menor será o período de inatividade de S_1 , portanto menor será sua economia de energia. A Figura 4 apresenta o aumento percentual do tempo de vida da rede em função de γ , comparado com uma rede sem nenhum método de economia de energia. Nas simulações realizadas sem o gerenciamento de energia os nós simplesmente medem e transmitem cada amostra medida ao sorvedouro periodicamente, a cada 0,1 segundo. Também aumenta-se a quantidade de nós vizinhos a S_1 , para investigar como isso afeta a economia de energia.

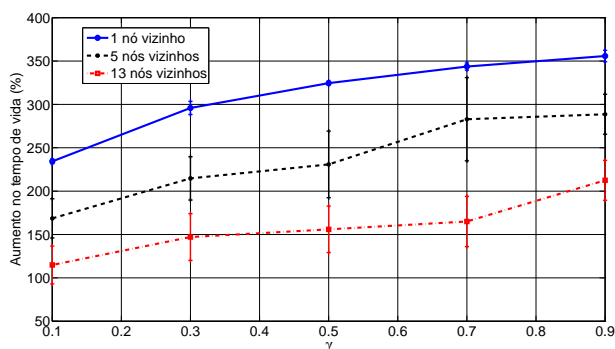


Fig. 4. Aumento no tempo de vida da rede $\times \gamma$ para limiar de 1%.

Conforme esperado, pode-se verificar na Figura 4 que o aumento de γ leva a um aumento no tempo de vida da rede, porque os nós podem dormir por períodos maiores de tempo. Quando há um aumento do número de vizinhos de S_1 , nós que o usam como rota, a tarefa de encaminhamento torna-se mais crítica, pois há mais pacotes a serem transmitidos. Logo, conforme visto na Figura 4, os nós tendem a dormir menos, levando a um aumento menos significativo no tempo de vida da rede.

VI. CONCLUSÕES E FUTURAS DIREÇÕES

Neste trabalho, avalia-se o problema da conectividade de uma RSSF que usa um algoritmo de economia de energia com um protocolo dormir/acordar. Nesta rede, os nós atuam tanto como fontes de energia, quando medem e transmitem amostras do ambiente, quanto roteadores, quando encaminham mensagens de seus vizinhos. Portanto, cumpre-se investigar o impacto do período de inatividade dos nós na conectividade da rede.

Para avaliar a conectividade da rede, propõe-se uma métrica chamada Taxa de Sucesso no encaminhamento de pacotes. Um fator de redução de tempo de dormir γ , usado para aumentar a probabilidade de um nó estar acordado para realizar os encaminhamentos é considerado, e investiga-se como esse fator pode impactar a conectividade da rede (em uma perspectiva micro), assim como o aumento do número de vizinhos que usam um dado nó como rota. Além disso, a Taxa de Entrega

de pacotes também é usada como métrica para avaliação global (macro) da conectividade da rede.

A partir dos resultados obtidos, pode-se observar um decréscimo na Taxa de Sucesso e na Taxa de Entrega de pacotes, com o aumento de γ , e com o aumento da quantidade de nós vizinhos. Além disso, observa-se que a Taxa de Entrega pode ser entendida como a agregação das Taxas de Sucesso no encaminhamento de pacotes em cada nó roteador, o que torna a métrica proposta eficaz para se avaliar a micro conectividade da rede, observando o que ocorre nó-a-nó. Finalmente, verifica-se que o aumento do fator γ leva a uma maior economia de energia, já que os nós podem dormir por períodos maiores de tempo. Também pode-se observar que o uso de $\gamma = 0,5$ pelos autores em [11] é justificável.

Para futuras direções, pretende-se implementar tanto o algoritmo de economia de energia quanto a métrica proposta pelo presente trabalho em uma rede de sensores real.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho teve o apoio da FAPERJ e do CNPq.

REFERÊNCIAS

- [1] A. A. F. Loureiro, "Redes de Sensores Sem Fio", *Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores*, pp. 179–226, 2003.
- [2] I. F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramanian e E. Cayirci, "Wireless sensor networks: A survey", *Computer Networks*, v. 38, pp. 393–422, 2002.
- [3] F. R. Henriques, L. Lovisolo e M. G. Rubinstein, "An Innovated-Based Algorithm for Energy Conservation in Multihop Wireless Sensor Networks", *7th International Telecommunications Symposium (ITS 2010)*, 2010.
- [4] Z. M. Wang, S. Basagni, E. Melachrinoudis e C. Petrolis, "Exploiting Sink Mobility for Maximizing Sensor Networks Lifetime", *Proc. 38th Annual Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS'05)*, pp. 3–6, 2005.
- [5] P. S. Sausen, J. R. B. Sousa, M. A. Spohn, A. Perksich e A. M. N. Lima, "Dynamic Power Management With Scheduled Switching Modes in Wireless Sensor Networks", *Proceedings of the 15th Annual Meeting of the IEEE International Symposium on Modeling, Analysis, and Simulation of Computer and Telecommunication Systems (MASCOTS'07)*, pp. 1–9, 2007.
- [6] G. Anastasi, M. Conti, M. Di Francesco e A. Passarella, "Energy Conservation in Wireless Sensor Networks: A Survey", *Ad Hoc Networks*, vol. 7, pp. 537–568, 2009.
- [7] C. Schurgers, V. Tsitsis e M. V. Srivastava, "STEM: Topology Management for Energy Efficient Sensor Networks", *IEEE Aerospace Conference '02*, pp. 10–15, 2002.
- [8] A. Keshavarzian, H. Lee e L. Venkatraman, "WakeUp Scheduling in Wireless Sensor Networks", *Proc. ACM MobiHoc 2006*, pp. 322–333, 2006.
- [9] D. Gao, L. Zhang e H. Wang, "Energy Saving with Node Sleep and Power Control Mechanism for Wireless Sensor Networks", *The Journal of China Universities of Posts and Telecommunications*, vol. 18, no. 1, pp. 49–59, 2011.
- [10] F. R. Henriques, L. Lovisolo e M. G. Rubinstein, "Algoritmos para Aumentar o Tempo de Vida de Redes de Sensores Sem Fio Utilizando Inovação", *XXVII Simpósio Brasileiro de Telecomunicações (SBRT'09)*, 2009.
- [11] F. R. Henriques, L. Lovisolo e M. G. Rubinstein, "Reconstrução com Eficiência Energética de um Processo Usando Redes de Sensores Sem Fio", *XXIX Simpósio Brasileiro de Telecomunicações (SBRT'11)*, 2011.
- [12] A. Cervin, D. Henriksson, B. Lincoln, J. Eker e K.-E. Arzén "How Does Control Timing Affect Performance?", *IEEE Control System Magazine*, vol. 28, no. 3, pp. 16–30, 2003.
- [13] P. Baronti, P. Pillai, V. Chook, S. Chessa, A. Gotta e Y. F. Hu, "Wireless Sensor Networks: a Survey on the State of Art and the 802.15.4 and ZigBee Standards", *Computer Communications*, vol. 30, no. 7, pp. 1655–1695, 2007.