

Reconstrução com eficiência energética de um processo usando Redes de Sensores Sem Fio

Felipe da Rocha Henriques, Lisandro Lovisolo e Marcelo Gonçalves Rubinstein

Resumo—Este trabalho usa um estimador para a predição de dois parâmetros: o valor da medida e o valor do período de inatividade dos nós, de modo a aumentar a autonomia de uma Rede de Sensores Sem Fio em relação ao monitoramento de uma dada região. O estimador usa informações conhecidas por cada nó e pelo sorvedouro para reduzir o erro de reconstrução do processo monitorado abaixo do limiar de inovação, parâmetro usado pelos nós na decisão de quais medidas devem ser transmitidas. Um interpolador de primeira ordem também é usado de modo a reduzir o erro. Os resultados mostram um ganho no tempo de vida da rede superior a 600% em relação a uma rede sem nenhum gerenciamento de energia. Além disso, pode-se verificar que os erros obtidos são menores do que o limiar, pelo uso conjunto do estimador e do interpolador.

Palavras-Chave—Redes de Sensores Sem Fio, energia, estimação, tempo de vida, reconstrução.

Abstract—This work uses an estimator for the prediction of two parameters: the value of measurement and the value of nodes inactivity period, to increase the Wireless Sensor Network autonomy in monitoring a given region. The estimator uses information known by itself and by the sink node to reduce the reconstruction error of the monitored process below the innovation threshold, parameter used by nodes in decision of which measures must be transmitted. A first order interpolator is also used to reduce error. Results show a gain in the network lifetime greater than 600% in relation to a network without any energy management. Furthermore, it can be observed that the obtained errors are smaller than the threshold, by using estimator and interpolation.

Keywords—Wireless Sensor Networks, energy, estimation, lifetime, reconstruction.

I. INTRODUÇÃO

Recentes avanços em áreas como a microeletrônica, a eletrônica digital e em comunicações sem fio possibilitaram o desenvolvimento de sensores de baixo custo, baixo consumo energético e de pequeno tamanho. Esses sensores podem ser utilizados como nós em Redes de Sensores Sem Fio (RSSFs) [1]. As RSSFs são um tipo especial de redes *ad hoc* e possuem aplicações em áreas como a medicina, com o monitoramento remoto de pacientes e de seus dados biométricos; a área militar, com o monitoramento de forças inimigas; a automação industrial e residencial; além do monitoramento de regiões de interesse, como uma floresta [2].

Os nós de uma RSSF são capazes de realizar tarefas como o monitoramento de uma dada região, coletando da-

dos do ambiente como temperatura, umidade e pressão; o processamento desses dados coletados e a transmissão e a recepção das medidas realizadas. Para que os nós sensores possam funcionar autonomamente, eles possuem uma unidade de energia composta por uma bateria.

Neste trabalho, uma RSSF é utilizada para monitorar um campo, modelado como um processo que depende da posição espacial de cada nó na rede e do tempo. Cada nó sensor mede amostras do processo monitorado e eventualmente as transmite para um nó sorvedouro. O objetivo é reconstruir o processo no sorvedouro com um erro abaixo de um erro máximo previamente definido, e com eficiência energética. A eficiência energética implica em melhorar a autonomia da rede através do aumento do seu tempo de vida. Considera-se, neste trabalho, o tempo de vida da rede como o tempo decorrido até a morte do primeiro nó sensor da rede, isto é, quando sua energia acaba [3].

Desse modo, o estudo de métodos e técnicas que visam a economia de energia dos nós de uma RSSF se faz necessário [4]. Segundo [1], a comunicação (transmissão/recepção) é a tarefa dos nós sensores que consome mais energia. Logo, pode-se avaliar, através de um processamento, quais dados devem ou não ser transmitidos, já que processando-se os dados, gasta-se menos energia do que transmitindo-os. Em [5], por exemplo, a correlação espaço-temporal entre as amostras medidas é utilizada para reduzir as transmissões e, com isso, economizar energia.

Em [6] e em [7] são propostos algoritmos para economia de energia de RSSFs de salto único e de múltiplos saltos, e o conceito de Inovação é definido, de modo a avaliar quais medidas coletadas devem ser transmitidas. Uma amostra só é transmitida caso ela possua uma variação percentual em relação à anteriormente transmitida maior do que um dado limiar de inovação, sendo essa uma amostra inovadora, ou seja, que possui informação relevante. Além disso, os nós podem dormir, isto é, entrar em um estado de inatividade ou economia de energia [8], entre transmissões inovadoras. Logo, se um nó S_i transmite duas amostras $x_i(j)$ e $x_i(j+n)$ nos instantes $t_i(j)$ e $t_i(j+\Delta t)$, onde j é o identificador sequencial das amostras, o período de inatividade (PI) desse nó é função dos instantes de transmissão t_i e t_j , ou seja, $PI = f(t_i, t_j)$, e pode ser calculado da seguinte forma:

$$PI = \frac{|t_i(j+\Delta t) - t_i(j)|}{2} \quad (1)$$

Este trabalho propõe um novo estimador para o valor medido e o período de inatividade PI de um dado nó, que utiliza a taxa de variação do processo monitorado e as informações

*Felipe da Rocha Henriques, Lisandro Lovisolo 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

conhecidas pelo nó e pelo sorvedouro na estimação, tal que o erro de reconstrução do processo ε seja menor do que o limiar de inovação δ . Desta forma, objetiva-se reduzir o erro de reconstrução, mantendo-o abaixo do limiar de inovação ($\varepsilon \leq \delta$) e ainda conseguir um ganho no tempo de vida da rede através da redução da quantidade de transmissões e do uso do estado de inatividade pelos nós.

Este trabalho está organizado da seguinte forma: na Seção II será apresentado o estimador proposto; a Seção III apresenta o interpolador utilizado na reconstrução do processo monitorado; a Seção IV diz respeito aos principais aspectos acerca do modelo de energia usado e das simulações; na Seção V são apresentados os principais resultados do trabalho, que será brevemente concluído na Seção VI.

II. ESTIMADOR

Para o estimador proposto neste trabalho, suponha que um nó sensor S_i deseja transmitir suas amostras medidas para um nó sorvedouro S_r . Em S_i , produz-se um vetor X_i que contém as amostras medidas, ou seja, $X_i = [x_n, x_{n-1}, \dots, x_{i0}]$. S_i também produz um vetor T_i com os instantes em que cada amostra é medida, isto é, $T_i = [t_n, t_{n-1}, \dots, t_{i0}]$.

No sorvedouro, a reconstrução do processo se dá a partir das informações disponíveis correspondentes a ele, uma versão subamostrada do processo medido pelo nó sensor, construída a partir das amostras transmitidas/recebidas X_r e dos instantes correspondentes de transmissão T_t de cada amostra. Portanto, tem-se: $X_r = [x_m, x_{m-1}, \dots, x_{r0}]$ e $T_t = [t_m, t_{m-1}, \dots, t_{r0}]$.

Pode-se estimar uma futura transmissão/recepção \hat{x}_{m+1} inovadora, tal que $\varepsilon \leq \delta$, a partir das amostras medidas e dos instantes de medições anteriores, e das amostras transmitidas e dos instantes de transmissões anteriores; ou seja,

$$\hat{x}_{m+1} = f(X_i, T_i, X_r, T_t). \quad (2)$$

Neste trabalho usa-se uma estimação linear, onde os dois últimos estados são utilizados para se estimar um estado futuro. Considera-se a seguinte notação: para as duas últimas amostras medidas e instantes de medição, tem-se x_{n-1} e x_{n-2} , t_{n-1} e t_{n-2} ; para as duas últimas amostras transmitidas e instantes de transmissão, tem-se x_{n-j} e x_{n-j-l} , t_{n-j} e t_{n-j-l} . Além disso, define-se as seguintes variações: $\Delta x_{n1} = x_{n-1} - x_{n-2}$, $\Delta t_{n1} = t_{n-1} - t_{n-2}$; $\Delta x_{nj} = x_{n-j} - x_{n-j-l}$ e $\Delta t_{nj} = t_{n-j} - t_{n-j-l}$, além das seguintes taxas de variação: $\alpha = \frac{\Delta x_{nj}}{\Delta t_{nj}}$ e $\beta = \frac{\Delta x_{n1}}{\Delta t_{n1}}$. Desse modo, deseja-se que a variação percentual entre as próximas amostras transmitida e medida deve ser menor do que um dado limiar de inovação, definido como:

$$|\hat{x}_{m+1} - x_{m+1}| \leq \delta |x_{m+1}|, \quad (3)$$

onde:

$$\hat{x}_{m+1} = x_{n-j} + \alpha(t_n - t_{n-j}) \quad (4)$$

e x_{m+1} pode ser entendido como sendo a próxima amostra a ser medida, portanto $x_{m+1} = x_n$. Como não dispõe-se de

x_n , esta amostra será estimada, a partir da taxa de variação do processo medido, portanto \hat{x}_n , dado pela seguinte equação:

$$\hat{x}_n = x_{n-1} + \beta(t_n - t_{n-1}). \quad (5)$$

Dessa forma, tem-se que (3) torna-se:

$$|x_{n-j} + \alpha(t_n - t_{n-j}) - \hat{x}_n| \leq \delta |\hat{x}_n|, \quad (6)$$

Substituindo a Equação (5) em (6), tem-se:

$$\begin{aligned} |x_{n-j} + \alpha(t_n - t_{n-j}) - x_{n-1} - \beta(t_n - t_{n-1})| \\ \leq \delta |x_{n-1} + \beta(t_n - t_{n-1})|. \end{aligned} \quad (7)$$

Resolvendo a inequação (7), pode-se estimar o período de inatividade do nó S_i , função dos instantes de transmissão da próxima amostra inovadora medida t_n e da última amostra transmitida t_{n-j} , ou seja, $\hat{PI} = f(t_n, t_{n-j})$. Com isso, pode-se definir \hat{PI} como sendo:

$$\hat{PI} = t_n - t_{n-j}. \quad (8)$$

Se S_i acordar após PI segundos, ele medirá uma amostra inovadora \hat{x}_n , tal que o erro de reconstrução ε será menor do que o limiar de inovação δ . Os passos do algoritmo que usa o estimador proposto para calcular o período de inatividade de um dado nó são mostrados no **Algoritmo 1**. Assim como em [7], após um dado nó S_i calcular seu período de inatividade PI_i e antes dele entrar no estado inativo (estado de economia de energia), o nó verifica se deve encaminhar pacotes de seus vizinhos para os quais ele usado como roteador. Caso não haja pacotes a serem encaminhados, S_i dorme durante $\frac{1}{2} \times PI_i$ segundos. Se ele tiver pacotes a serem encaminhados, S_i dorme durante $\frac{1}{2} \times \min(PI_1, PI_2, \dots, PI_n)$, onde PI_1, PI_2, PI_n são os períodos de inatividade de seus vizinhos S_1, S_2, S_n . O fator $\frac{1}{2}$ tem por finalidade aumentar a probabilidade de um dado nó estar acordado para encaminhar os pacotes de seus vizinhos.

Algoritmo 1 Algoritmo de conservação de energia com estimador linear

```

j ← 1
PIi ← 0
while energiai > 0 do
    Si mede xi(j)
    if j = 1 then
        Si transmite xi(j)
    else
        Si transmite xi(j)
        Si calcula PIi com a estimação linear
        if Si encaminha pacotes de n vizinhos then
            PIi = min(PI1, PI2, ..., PIn)
        end if
        Si Inativo durante ½ × PIi segundos
        Si acordar após ½ × PIi segundos
    end if
    j ← j+1
end while
    
```

Cumpra observar que o algoritmo apresentado roda diretamente na camada de aplicação de cada nó da rede. Todo

processamento e estimação ocorre nesta camada. A ideia é que o algoritmo seja independente, por exemplo, do protocolo de roteamento utilizado.

III. RECONSTRUÇÃO

A ideia deste trabalho é utilizar uma RSSF para monitorar um processo $f(x, y, t)$ que depende das coordenadas x e y de cada nó sensor, e do tempo t . Deseja-se aumentar a autonomia da rede dado que o erro máximo aceitável de reconstrução do processo monitorado seja menor do que um limiar de inovação predefinido.

Neste trabalho, em consonância com a estimação linear apresentada na Seção II, é usado um interpolador de primeira ordem para a reconstrução. Este interpolador usa uma função linear para aproximar os pontos obtidos a partir das amostras com inovação recebidas pelo sorvedouro. Com isso, deseja-se que haja uma redução no erro de reconstrução em relação, por exemplo, a uma interpolação de ordem zero, onde considera-se que o processo não varia entre transmissões inovadoras. Em [7], utilizou-se um interpolador de ordem zero. Um exemplo é apresentado na Figura 1, dividida em dois gráficos, que apresenta em cada um deles dois processos, um monitorado e outro reconstruído. O erro de reconstrução pode ser calculado pela diferença entre as curvas $e(x_i, y_i, t)$, definido pela Equação (9), para coordenadas fixas x_i e y_i , e para um tempo t contínuo. Na Figura 1 a), é apresentada a interpolação de grau zero e a Figura 1 b) representa a interpolação linear usada neste trabalho. Pode-se verificar que a reconstrução em que se usa um interpolador de primeira ordem tende a ter um erro menor do que a que usa o outro.

$$e(x_i, y_i, t) = f(x_i, y_i, t) - \hat{f}(x_i, y_i, t) \quad (9)$$

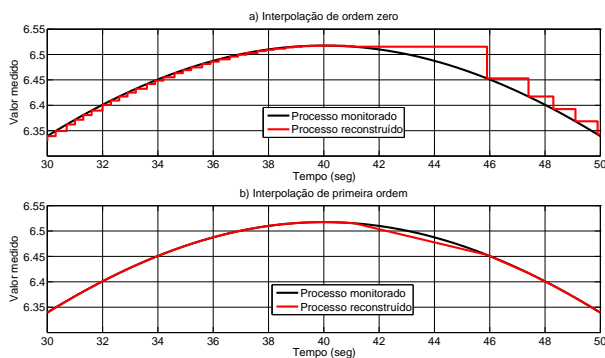


Fig. 1. Reconstrução com interpolador de ordem zero e de primeira ordem.

IV. MODELO DE ENERGIA E SIMULAÇÕES

O modelo de energia utilizado neste trabalho é o mesmo utilizado em [7], onde cada nó da rede pode estar associado a dois estados: inativo, que é um estado de economia de energia [9]; e ativo. O estado ativo possui quatro modos de operação: modo de medição; modo de processamento; modo de recepção e modo de transmissão, onde cada um desses modos está ligado a uma determinada tarefa realizada pelo nó. Além disso,

o modelo também leva em conta o tamanho do pacote de dados transmitido ou recebido [10].

O consumo de energia E_c de um dado nó pode ser calculado a partir do período de tempo em que o nó permanece em cada estado e pode ser definido pela equação a seguir:

$$E_C = t_I \times C_I + t_A \times C_A + t_M \times (C_A + C_M) + t_P \times (C_A + C_P) + t_R \times (C_A + C_R) + t_T \times (C_A + C_T), \quad (10)$$

onde 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 de energia em cada estados, C_I , C_A , C_M , C_P , C_R e C_T , são apresentados na Tabela I.

Para as simulações usou-se o *TrueTime* 1.5 [11], ambiente baseado em MatLab/Simulink e utilizou-se o padrão de rede sem fio IEEE 802.15.4 [12].

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)	1,8
C_A :Consumo no estado ativo (mJ/s)	10
C_M :Consumo no modo de medição (mJ/s)	18
C_P :Consumo no modo de processamento (mJ/s)	18
C_R :Consumo no modo de recepção (mJ/s)	62,4
C_T :Consumo no modo de transmissão (mJ/s)	58,62
Carga útil (Byte)	1

Nas simulações realizadas neste trabalho, considerou-se o monitoramento de um processo modelado como uma superfície $f(x, y, t)$. Tal processo, usado para avaliar o estimador de forma genérica, é descrito pela equação (11), onde m_x , m_y e m_t são as médias de x , de y e de t ; dp_x , dp_y e dp_t são os desvios padrão de x , de y e de t ; e C é uma constante.

$$f(x, y, t) = \left[e^{-\frac{(x-m_x)^2}{2 \cdot dp_x^2}} + e^{-\frac{(y-m_y)^2}{2 \cdot dp_y^2}} \right] \times \left[e^{-\frac{(t-m_t)^2}{2 \cdot dp_t^2}} \right] + C \quad (11)$$

Neste trabalho, é considerado um modelo de comunicação de múltiplos saltos, onde utiliza-se um protocolo de roteamento para que as mensagens sejam encaminhadas nó-a-nó até o destino. O protocolo utilizado é o AODV [13].

Em relação ao cenário das simulações, uma RSSF com uma quantidade de quinze nós foi utilizada para monitorar uma área de $80m \times 80m$, onde o sorvedouro foi posicionado no centro e à direita da área e os nós sensores foram dispostos aleatoriamente à esquerda do sorvedouro. A cada rodada de simulação, a posição do sorvedouro é fixa e a posição de cada sensor é sorteada de forma aleatória.

As métricas utilizadas para avaliar o algoritmo que usa o estimador proposto são: o aumento do tempo de vida da rede e a redução da quantidade de transmissões. Essas duas métricas são calculadas em relação às simulações sem nenhum tipo de economia de energia. Nas simulações sem a conservação de energia, cada nó mede amostras e as transmite a cada 0,1

segundos. Também são avaliadas a taxa de entrega de pacotes, que é a razão entre a quantidade de pacotes recebidos e a quantidade de pacotes transmitidos e o erro de reconstrução do processo monitorado. Por fim, para melhor avaliar o estimador proposto, três processos são considerados, cada qual com velocidade distinta.

V. RESULTADOS

Cada simulação foi rodada dez vezes e um intervalo de confiança de 95% para a média é mostrado em cada gráfico, representado pela barra vertical em torno de cada ponto das curvas. Em cada gráfico foram utilizados os seguintes limiares de inovação: 0,1%, 1%, 5% e 8%. Em relação ao processo monitorado, os seguintes parâmetros foram considerados: as médias de x , y e t são $m_x = m_y = m_t = 40$, respectivamente; $dp_x = dp_y = 20$ são os desvios padrão de x e y ; e $C = 5$ é uma constante. De modo a avaliar a reconstrução do processo, três campos com taxas de variação distintas foram monitorados pelos nós da rede. Portanto, os seguintes valores de desvio padrão para o tempo t foram usados: $dp_t = 10$, $dp_t = 15$ e $dp_t = 20$, o que pode caracterizar os processos como rápido, para $dp = 10$; médio, com $dp = 15$ e lento, para $dp = 20$.

As Figuras 2 e 3 apresentam, respectivamente, o aumento do tempo de vida da rede e a redução da quantidade de transmissões (ambos em relação às simulações sem o gerenciamento de energia) em função do limiar de inovação, para os três processos monitorados. Pode-se observar que o aumento do limiar de inovação leva a um ganho no tempo de vida e na redução da quantidade de transmissões. Quando aumenta-se o limiar, isto significa que os nós irão transmitir amostras com uma variação percentual cada vez maior, já que permite-se um erro maior, além dos nós dormirem por tempos maiores. Com isso, transmite-se menos amostras medidas. Uma outra observação diz respeito à avaliação da velocidade do processo. Como o processo monitorado é uma gaussiana, quando há uma redução no desvio padrão do tempo, a sua velocidade é aumentada. Para processos mais rápidos, os nós tendem a transmitir mais e dormir por períodos menores de tempo. Portanto, verifica-se que o aumento no desvio padrão, gerando um processo com uma variação mais lenta, leva a um ganho, tanto no aumento do tempo de vida, quanto na redução das transmissões.

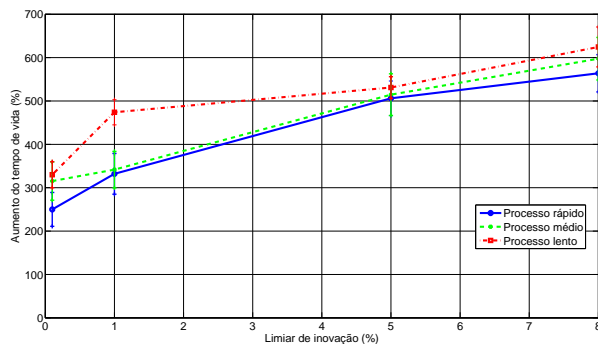


Fig. 2. Tempo de vida da rede x Limiar de inovação.

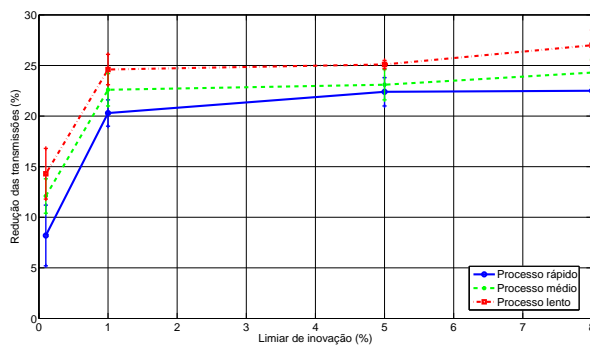


Fig. 3. Redução das transmissões x Limiar de inovação.

A Tabela II apresenta a taxa de entrega de pacotes em função do limiar de inovação, para as três superfícies monitoradas pela rede, onde LI são os limiares de inovação utilizados. Nas simulações realizadas, intervalos de confiança entre 0,5% e 1% foram observados para as médias dos resultados referentes à taxa de entrega. Verifica-se que, com o aumento do limiar de inovação, há uma pequena redução na taxa de entrega de pacotes. O aumento do limiar faz com que os nós durmam por períodos de tempo maiores, o que pode afetar a conectividade da rede. Em relação à variação da velocidade do processo monitorado, observa-se uma pequena redução na taxa de entrega em função do aumento desse parâmetro. Para um limiar de inovação fixo, aumentar a velocidade do processo significa aumentar a quantidade de transmissões, o que pode levar a um aumento pela disputa do meio, com a possibilidade de haver mais colisões.

TABELA II
TAXA DE ENTREGA DE PACOTES x LIMIAR DE INOVAÇÃO.

LI	0,1%	1%	5%	8%
Processo rápido	88%	87%	86%	86%
Processo médio	88%	88%	87%	86%
Processo lento	89%	88%	87%	87%

Para o cálculo do erro de reconstrução do processo monitorado, as Figuras 4 e 5 apresentam a Função Distribuição Cumulativa de probabilidades (CDF) do erro em função do limiar de inovação. Isto representa a probabilidade do erro ϵ ser menor do que um dado limiar de inovação δ , ou seja, $P(\epsilon < \delta)$. Na Figura 4, onde cada curva representa a CDF do erro para um limiar fixo, dois gráficos são apresentados, ambos para um processo lento. Pode-se verificar no gráfico a), que $\epsilon < \delta$, ou seja, o erro é sempre menor do que o limiar de inovação. O gráfico b) apresenta o mesmo resultado, porém com o foco no limiar de 0,1%, para melhor visualização quando tem-se limiares pequenos. Pode-se observar ainda um aumento no erro para limiares maiores, o que já era esperado, já que permite-se uma maior variação percentual entre a amostra medida e a última transmitida.

A Figura 5, apresenta a CDF do erro para dois limiares fixos, 1% e 5% para os três processos, cada qual com uma veloci-

dade. O resultado anterior é novamente verificado: mesmo para processos com velocidades diferentes, $\varepsilon < \delta$. Como esperado, observa-se um pequeno aumento no erro de reconstrução para processos que variam mais rapidamente, mas sempre inferior ao predefinido.

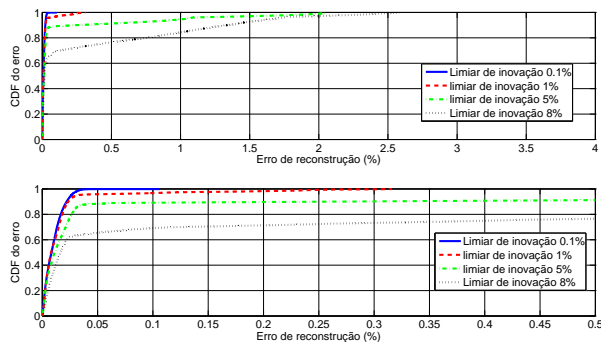


Fig. 4. CDF do erro de reconstrução de um processo lento.

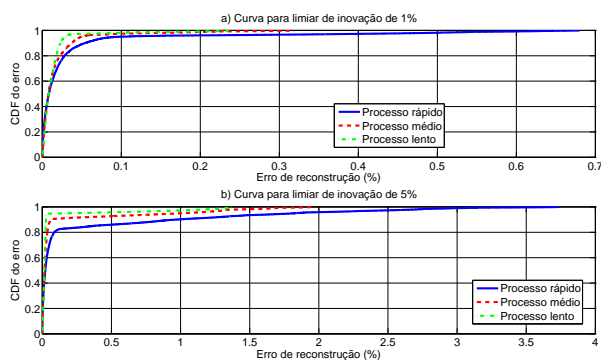


Fig. 5. CDF do erro de reconstrução do processo para limiares de 1% e 5%.

VI. CONCLUSÕES

Neste trabalho, utiliza-se uma RSSF para monitorar um processo $f(x, y, t)$. Para aumentar a autonomia da rede, propõe-se um estimador para os valores medidos e para os períodos de inatividade dos nós sensores, de tal forma que o erro na reconstrução do processo seja menor do que o limiar de inovação. O estimador proposto usa a taxa de variação do processo medido e as informações disponíveis no sorvedouro para estimar os parâmetros. Além disso, propõe-se a utilização de um interpolador de primeira ordem, do modo a reduzir o erro de reconstrução. O estimador é avaliado a partir de algumas métricas e para processos com velocidades distintas.

A partir dos resultados obtidos, pode-se observar que a utilização do estimador em um algoritmo para economia de energia consegue um aumento no tempo de vida da rede superior a 600% em relação às simulações sem o gerenciamento de energia, através da redução na quantidade de transmissões e pelo uso do estado de inatividade pelos nós. Verifica-se que, para processos mais rápidos, os nós transmitem mais amostras, reduzindo o ganho no tempo de vida da rede. Pode-se observar

que há uma pequena redução na taxa de entrega com o aumento do limiar de inovação, para um mesmo processo; e uma pequena redução nesta mesma métrica para processos com variação mais rápida, para um mesmo limiar. Além disso, verifica-se um aumento no erro de reconstrução em função do aumento do limiar, para um mesmo processo; e um pequeno aumento do erro para processos mais rápidos, para o mesmo limiar. Enfim, para os processos avaliados, pode-se observar que o erro de reconstrução obtido é sempre menor do que o limiar de inovação, conforme esperado.

Para futuras direções, pretende-se analisar de que forma o período de inatividade de cada nó pode influenciar na perda de pacotes no encaminhamento até o destino, ou seja, pode-se haver uma redução na taxa de entrega caso o nó esteja inativo por muito tempo.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho teve o apoio da FAPERJ e do CNPq.

REFERÊNCIAS

- [1] I. F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramanian e E. Cayirci, “Wireless sensor networks: A survey”, *Computer Networks*, v. 38, pp. 393–422, 2002.
- [2] A. A. F. Loureiro, “Redes de Sensores Sem Fio”, *Minicurso do Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores*, pp. 179–226, 2003.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] I. F. Akyildiz, M. C. Vuran e O. B. Akan, “On Exploiting Spatial and Temporal Correlation in Wireless Sensor Networks”, in *Proc. WiOpt’04: Modeling and Optimization in Mobile, Ad Hoc and Wireless Networks*, 2004.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] P. S. Sausen, J. R. B. Sousa, M. A. Spohn, A. Perikisich 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.
- [9] S. Kostin e C. L. Amorim, “Controle de Potência de Transmissão para Redes de Sensores em Cenários com Obstáculos”, *Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores*, pp. 337–350, 2007.
- [10] Y. Panthachai e P. Keeratiwintakorn, “An Energy Model for Transmission in Telos-based Wireless Sensor Networks”, *Proceedings of the 4th International Joint Conference on Computer Science and Software Engineering*, 2007.
- [11] 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.
- [12] J. Zheng e M. J. Lee, “A Comprehensive Performance Study of IEEE 802.15.4”, *IEEE Press Book*, 2004.
- [13] C. Perkins, E. Belding-Royer e S. Das, “Ad Hoc On Demand Distance Vector Routing (AODV)”, *RFC 3561*, 2003.