

Dynamic definition of the sampling rate of data in Wireless Sensor Network with Adaptive Automata

I. M. Santos, M. A. Dota and C. E. Cugnasca

Abstract— The Wireless Sensor Networks have the potential for different applications, especially for environmental monitoring. This paper aims to present the formalization of a technique to minimize the energy expenditure of sensor nodes in a Wireless Sensor Network. The technique presented considers the use of Adaptive Automata and the possibility of the sensor network dynamically vary the interval (time) between a data logging and other. Thus, it is expected that the sensor network automatically use long intervals while collecting information within a range of values considered normal or acceptable. However, when the nodes collect data considered outside the normal range, it is expected that the data sampling intervals are reduced, so that the sensor network to monitor the phenomenon in more detail. With the implementation of this strategy is economy in energy consumption of sensor nodes in the network without loss of efficiency in the monitoring of phenomena. The formalization of the technique is given by Adaptive Automata that has adaptive actions to dynamically adjust the sampling interval of sensor nodes. To verify the energy savings was developed and evaluated a computational simulation results.

Keywords— Wireless Sensor Network, Adaptive Automata, Energy Saving.

I. INTRODUÇÃO

UMA Rede de Sensores Sem Fio (RSSF) é um tipo especial de rede ad hoc com capacidade de coletar e processar informações de maneira autônoma, estando esses sensores distribuídos em uma determinada área [1, 2, 3]. Esse tipo de rede pode ser utilizado em um grande conjunto de aplicações, como por exemplo, no monitoramento ambiental, na agricultura de precisão, nos processos industriais, nos sistemas embarcados em automóveis e aeronaves, nos sistemas de segurança, entre outros [4, 5, 6].

Dentre as diversas aplicações, pode-se destacar o monitoramento agrícola, que envolve o acompanhamento e a observação contínua de uma área de plantio, com o objetivo de avaliar as mudanças ocorridas nesse ambiente. Esse monitoramento é importante no processo de tomada de decisão e auxilia na solução de problemas, como ataques de pragas e doenças, correção do solo, aplicação de insumos e mudanças climáticas que podem prejudicar a produtividade da plantação, entre outros aspectos. Entretanto, a utilização das RSSF nesse

tipo de aplicação não necessita de um monitoramento com alta frequência de coleta de dados, pois as condições ambientais se modificam lentamente.

Um dos principais desafios na aplicação das RSSF é a economia de energia dos nós sensores, de modo a propiciar um maior tempo de vida útil da rede. Isso é importante, pois na prática recarregar manualmente as baterias dos nós da rede é inviável, sendo cada nó responsável por utilizar de maneira eficiente sua carga de energia disponível.

Este trabalho apresenta uma proposta para o ajuste dinâmico dos intervalos entre amostragens efetuadas pelos nós da rede de sensores. Em aplicações nas quais as variáveis observadas modificam-se lentamente, ou o monitoramento esteja obtendo dados dentro de um padrão de normalidade (como na agricultura de precisão), espera-se que os nós utilizem intervalos longos e passem a adotar intervalos curtos caso sejam observados dados inesperados. Com a adoção dessa estratégia, pode-se obter uma maior economia de energia, visto que o número de medições e envio de dados pelos nós da rede é reduzido, sem que isso signifique perda de eficiência no monitoramento do ambiente pela RSSF.

Para controlar a dinamicidade dos intervalos, é proposto um Autômato Adaptativo (AA) [7] que será executado em cada nó sensor, de modo que cada nó da rede seja autônomo na decisão do seu intervalo de amostragem, em função dos fenômenos que estão sendo monitorados.

Este trabalho apresenta na Seção II uma breve contextualização do monitoramento agrícola, as potencialidades de se utilizar RSSF nesse contexto e descreve a estratégia adaptativa que será utilizada pelo AA. A Seção III discute e apresenta o AA para o problema de definição dinâmica do intervalo de amostragem em RSSF, além de apresentar a Tabela de Decisão Adaptativa e discutir sua verificação. Na Seção IV são apresentados e discutidos os resultados obtidos por meio da simulação computacional e na Seção V são apresentadas as considerações finais do trabalho.

II. MONITORAMENTO DE AMBIENTES AGRÍCOLAS COM RSSF

A agricultura de precisão consiste em um manejo específico da área cultivada, dividindo o terreno em parcelas, tratando de modo diferenciado, dependendo das necessidades de cada parcela. Dessa forma, conseguem-se vantagens econômicas, aumento de produção e benefícios para o meio ambiente [8]. A aplicação das RSSF na agricultura de precisão é uma alternativa promissora, possibilitando um melhor monitoramento da cultura e das propriedades do ambiente de cultivo [9].

I. M. Santos, Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, São Paulo, Brasil, ivairton@usp.br

M. A. Dota, Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, São Paulo, Brasil, mara@usp.br

C. E. Cugnasca, Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, São Paulo, carlos.cugnasca@poli.usp.br

No monitoramento agrícola, geralmente os dados (fenômenos monitorados) variam lentamente. Assim, uma RSSF não precisaria monitorar o ambiente constantemente em intervalos considerados curtos, pois isso representaria desperdício de energia e registro redundante de dados. Outro aspecto inerente ao monitoramento agrícola é o fato de que se um fenômeno que está sendo monitorado apresenta valores dentro de um intervalo considerado normal (a faixa de normalidade é definida sob a orientação de um agrônomo e de acordo com o objetivo do monitoramento), então o sistema de monitoramento continua acompanhando o ambiente, avaliando se ocorre alguma mudança que esteja fora desse intervalo de normalidade, para só então atuar no sistema. Dessa forma, pode-se considerar uma estratégia em que os nós da rede de sensores adotem intervalos longos para a coleta de dados enquanto as informações obtidas corresponderem a um padrão de normalidade. Quando ocorrer a leitura de dados fora do padrão de normalidade, então os nós da rede de sensores deverão reduzir o intervalo de amostragem, de modo a intensificar o monitoramento e registrar a variação ocorrida.

A Fig. 1 ilustra a estratégia descrita, sendo “a” correspondente ao valor mínimo, enquanto que “b” corresponde ao valor máximo do intervalo de valores considerados como medições normais. No decorrer do tempo (eixo x), cada instante de coleta de informação de um sensor é representado por um ponto. Observa-se que enquanto os dados obtidos estão dentro do padrão de normalidade, o intervalo entre uma amostragem e outra é maior do que quando ocorre uma medição fora da normalidade.

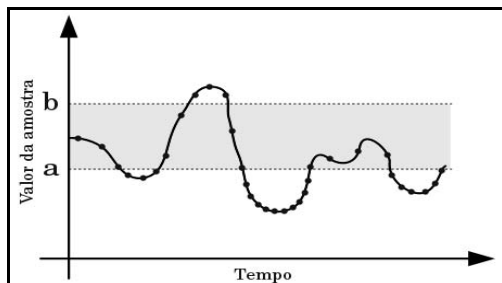


Figura 1. Exemplo de uma sequência de medidas de um nó sensor ao longo do tempo. Quando ocorrem medidas fora da normalidade (limites a e b) o intervalo entre uma amostragem e outra é reduzido.

Com essa estratégia espera-se economizar energia enquanto o ambiente apresentar uma situação de normalidade e garantir a eficiência do monitoramento do ambiente em situações de anormalidade [10].

III. DESCRIÇÃO DO MODELO ADAPTATIVO

Um AA é uma máquina de estados à qual são impostas sucessivas alterações, resultantes da aplicação de ações adaptativas associadas às regras de transições executadas pelo autômato [7]. Dessa maneira, estados e transições podem ser eliminados ou incorporados ao autômato em decorrência de cada um dos passos executados durante a análise da entrada. De maneira geral, pode-se dizer que o AA é formado por um dispositivo convencional, não-adaptativo, e um conjunto de

mecanismos adaptativos responsáveis pela auto-modificação do sistema.

Para determinar a mudança nos intervalos de amostragem nos nós sensores, é proposto um AA que assume as seguintes considerações:

- Cada estado do AA corresponde a um intervalo de amostragem distinto para o nó sensor.
- Se o valor da amostra coletada pelo nó sensor mantém-se estável, então o AA permanece no mesmo estado.
- Se o valor da amostra coletada pelo nó sensor “piorar”, ou seja, extrapolar os limites do padrão de normalidade, então o AA transita para um estado que corresponda a um intervalo de amostragem menor (aumento da frequência das amostras), por meio de uma função adaptativa.
- Se o valor da amostra “melhorar”, então o autômato transita para um estado que corresponde a um intervalo de amostragem maior (redução da frequência das amostras).

À medida que os dados obtidos pelos nós sensores atingem o intervalo de normalidade, o AA deve transitar de volta ao estado que corresponde ao maior intervalo de amostragem, reduzindo, portanto, a frequência de coleta e envio de dados na rede.

O AA proposto é apresentado na Fig. 2. No autômato o símbolo $<$ corresponde a uma leitura do sensor de uma amostra com valor abaixo do padrão de normalidade, com variação superior a um limite mínimo, que aqui será referenciado como $k\%$. O símbolo $>$ representa uma leitura com valor maior que o limite superior do padrão de normalidade. Portanto, para o caso de uma entrada com um desses dois símbolos (leitura abaixo ou superior ao padrão de normalidade), espera-se que ocorra a execução de uma ação adaptativa, gerando um novo estado no autômato que corresponda a um intervalo mais curto.

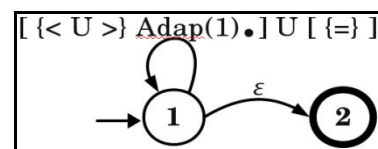


Figura 2. Autômato Adaptativo proposto para determinar dinamicamente o intervalo de amostragem em RSSF.

A Fig. 3 ilustra um possível exemplo de execução do AA proposto. Na Fig. 3(a), o AA se encontra em seu estado inicial. Considerando uma suposta leitura, pelo sensor, de um valor abaixo do padrão de normalidade definido, ocorre uma ação adaptativa, criando um novo estado (#1). A nova configuração do AA pode ser observada na Fig. 3(b). O novo estado corresponde a um intervalo de amostragem menor do que o intervalo estabelecido pelo estado 1. Nessa nova configuração, caso o nó sensor volte a executar uma nova leitura e a obter um dado “pior”, ou seja, com um valor ainda menor ($<$), irá ocorrer uma nova ação adaptativa, criando um novo estado com intervalo de amostragem menor que o atual. Caso ocorra uma amostragem “melhor”, então o autômato transita para um

estado com intervalo de amostragem maior (retornando no exemplo para o estado 1).

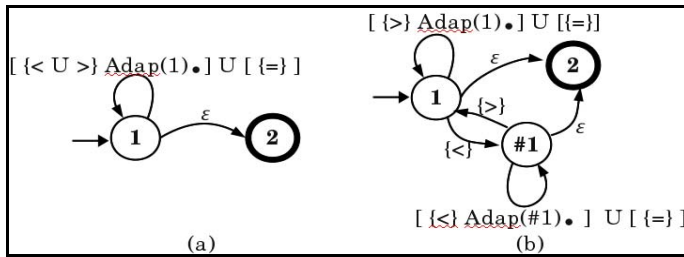


Figura 3. Exemplo de execução da primeira ação adaptativa, considerando a leitura de um valor abaixo do limite inferior.

O comportamento do AA é análogo para o caso da leitura de dados acima do padrão de normalidade.

A. Tabela de Decisão Adaptativa

Durante a execução de uma transição adaptativa, o AA sofre alguma mudança em sua configuração (eliminando, acrescentando, ou simplesmente modificando estados e transições). Isto faz com que uma nova máquina de estados apareça, no lugar da anterior, caracterizando a execução de um passo adicional [7].

Uma função adaptativa é formada por um conjunto de ações adaptativas, que podem ser executadas em sequência na ocasião da aplicação da função. Há três ações elementares, que podem ser usadas para compor as ações adaptativas que permitem: consultar (representado pelo “?”), eliminar (representado pelo “-”) e adicionar (representado pelo “+”) transições no autômato. Uma Tabela de Decisão Adaptativa (TDA) permite representar as regras de uma função adaptativa e consequentemente representar toda a lógica do AA de maneira intuitiva.

Considerando o AA, apresentado no diagrama da Fig. 2, para o problema de determinação autônoma do intervalo de amostragem em uma RSSF, propõe-se a respectiva TDA apresentada na Tabela I.

B. Validação da TDA

Visando verificar a TDA apresentada na Tabela I, foi utilizado o software AdapTools [11], que permite representar, implementar e simular o comportamento de um AA a partir da sua TDA, em função de uma entrada pré-determinada. O sistema inclui recursos de depuração, visualização de variáveis, animação gráfica, bem como mecanismo para controle de projetos e execução simultânea de múltiplos dispositivos.

As simulações executadas demonstraram o comportamento esperado do AA, portanto, a correta construção da TDA. A Fig. 4 corresponde à representação da TDA no software AdapTools e a Fig. 5 à simulação gráfica do AA em um determinado instante.

TABELA I
TABELA DE DECISÃO ADAPTATIVA REFERENTE AO AA PROPOSTO PARA A DETERMINAÇÃO DO INTERVALO DE AMOSTRAGEM EM UMA RSSF.

Label	Tag	Condições		Ações		Funções Adaptativas				Parâmetros				Geradores	
		Estado =	Entrada =	Estado ←	Consume	Accept ←	R1	R2	P1	P2	P3	P4	G1	G2	
1	S			1	✓										
2	R	1	=	1	✓										
3	R	1			x										
4	R	1	e	2											
5	R	1	<	1		✓		1	1						
6	R	1	>	1			✓				1	1			
7	R	2				✓									
8	E														
H							✓		✓	✓				✓	
-	P1	<	P2			✓		P1	P2						
+	P1	<	G1	✓											
+	G1	>	P1	✓											
+	G1	=	G1	✓											
+	G1	<	G1			✓		G1	G1						
+	G1	e	2												
H							✓			✓	✓			✓	
-	P3	>	P4			✓				P3	P4				
+	P3	>	G2	✓											
+	G2	<	P3	✓											
+	G2	=	G2	✓											
+	G2	>	G2			✓				G2	G2				
+	G2	e	2												

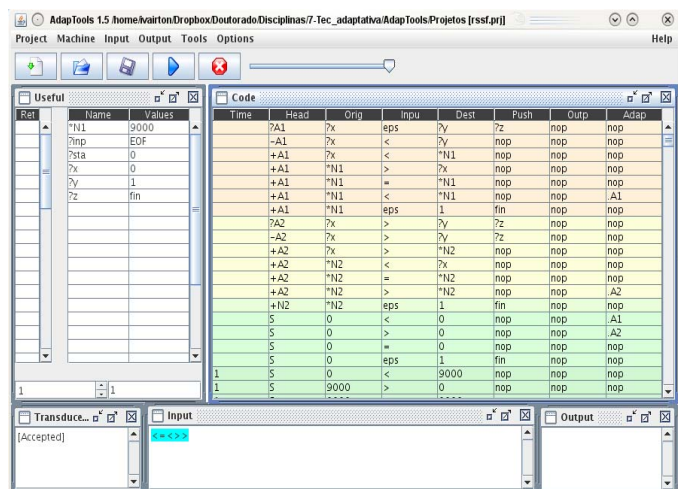


Figura 4. Tela principal do software AdapTools com o AA proposto representado.

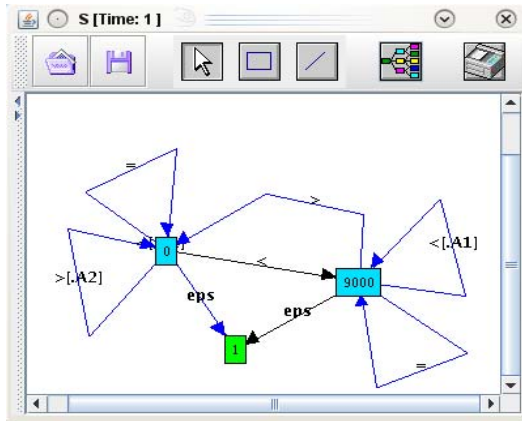


Figura 5. Tela com a representação gráfica da simulação do AA apresentado.

IV. RESULTADOS

Buscando avaliar a economia de energia em uma RSSF proporcionada pela utilização do AA proposto, foi desenvolvido um sistema que simula uma rede de sensores. Esse sistema, desenvolvido em linguagem de programação Java, simula o consumo de energia dos nós quando registram e enviam pacotes de dados e quando estão em modo *stand-by*. O sistema considera uma aplicação em que os nós estão monitorando a variável temperatura do ambiente. Para isso foi considerada uma série histórica real de temperatura, registrada pelo CPTEC INPE (<http://www.cptec.inpe.br/>), para a região do município de Bento Gonçalves/RG. A escolha se deu pelo grande número de parreirais presentes nessa região e da importância de se monitorar a temperatura nessas culturas em épocas frias, monitorando a ocorrência de geadas.

Para simular a temperatura do ambiente, adotou-se uma temperatura simulada “global”. Os dados gerados nesse processo são tendenciosos, seguindo como parâmetro os registros de temperatura definidos na série histórica. Cada nó da rede “registra” (simula o registro por meio da geração de dados randômicos) temperaturas que correspondem a variações da temperatura “global”. Dessa forma mantém-se a tendência em seguir a temperatura global e permite simular diferentes microrregiões na área onde a rede de sensores está instalada. Para as simulações, o intervalo de normalidade adotado foi definido entre 20 e 28 °C.

O sistema não executa algoritmos de roteamento de dados, limita-se a simular o envio de pacotes, assumir intervalos que deve permanecer sem atividade e considerar que parte dos pacotes devem ser reenviados por razão de falha (de acordo com parâmetros definidos).

O sistema foi parametrizado com base nas informações dos sensores da plataforma MICAz, comercializados pela MEMSIC, e pelos dados obtidos nos experimentos de [12].

Em todas as simulações foi adotada a mesma configuração para a rede de sensores, variando somente o número e a definição dos intervalos de amostragem a serem utilizados pelo AA. O menor intervalo de amostragem adotado foi de 3 minutos e o maior de 30 minutos. Simulando a rede com o intervalo de amostragem fixado em 3 minutos foi obtido o tempo médio de duração de 36 dias (limite mínimo). Com o

intervalo de amostragem fixado em 30 minutos, obteve-se o tempo médio de duração de 201 dias (limite máximo). Os valores adotados para esses intervalos foram escolhidos em razão dos experimentos realizados por [12], para que se pudesse ter uma referência comparativa.

Os testes se basearam na análise da duração da rede, considerando a dinâmica na definição dos intervalos de amostragem e na adição de novos intervalos. A Tabela II descreve as configurações dos intervalos (sua duração em minutos) para cada padrão de simulação, considerando diferentes números de intervalos.

TABELA II
TABELA DE DESCRIÇÃO DAS CONFIGURAÇÕES DEFINIDAS PARA OS INTERVALOS NOS DIFERENTES PADRÕES DE SIMULAÇÃO.

Nº de intervalos	Duração dos intervalos (em minutos)
01	[3]
02	[30, 3]
03	[30, 15, 3]
04	[30, 20, 10, 3]
05	[30, 24, 17, 10, 3]
06	[30, 25, 20, 15, 9, 3]
07	[30, 26, 22, 17, 12, 8, 3]
08	[30, 26, 22, 18, 14, 10, 6, 3]
10	[30, 27, 24, 21, 18, 15, 12, 9, 6, 3]
15	[30, 28, 26, 24, 22, 20, 18, 16, 14, 12, 10, 8, 6, 4, 3]

A Fig. 6 demonstra os padrões de simulação com seus respectivos intervalos de amostragem e a participação de cada intervalo em relação ao total de registros executados pelos nós sensores. O eixo *y* informa os padrões de simulação, com sua quantidade de intervalos empregados, enquanto que o eixo *x* traz a porcentagem de registros feitos por cada intervalo durante a simulação, com destaque (rótulo) para os intervalos de 3 e 30 minutos.

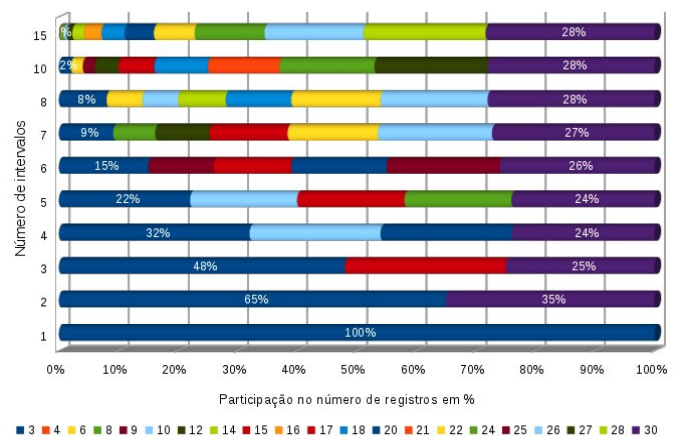


Figura 6. Porcentagem do número de registros de dados executados por cada intervalo de amostragem.

A porcentagem de registros efetuados pelo intervalo de 30 minutos se mantém razoavelmente próximo nas diferentes simulações, em razão desde intervalo corresponder ao padrão de normalidade. Os demais intervalos têm participações

gradativamente menores nos registros de dados à medida que novos intervalos são inseridos. Isso é especialmente perceptível no intervalo de 3 minutos, que passa a ser utilizado pelo AA somente com os piores registros de temperatura. Na simulação com 15 intervalos distintos, os intervalos de 3, 6 e 9 minutos registraram cada um aproximadamente 0,1% dos registros e os intervalos de 8 e 10 minutos registraram menos de 1%.

O gráfico na Fig. 7 mostra a duração média (em dias) da rede de sensores com a adição gradativa de novos intervalos.

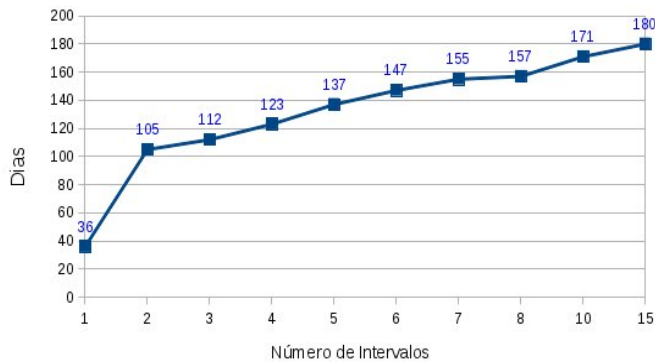


Figura 7. Duração da RSSF com a adição gradativa de novos intervalos de amostragem.

A definição dinâmica de intervalos de amostragem, mesmo que considerando somente dois intervalos distintos, pode proporcionar um importante ganho na economia de energia da rede de sensores. Somente a adição de um novo intervalo, deixando de utilizar um intervalo fixo (3 minutos), para empregar dois intervalos (3 e 30 minutos), proporcionou quase triplicar o tempo de vida da rede de sensores. A cada adição de um novo intervalo ocorreu incremento na duração da RSSF. A simulação que apresentou melhor ganho com a adição de um novo intervalo (excetuando a simulação com dois intervalos) foi a com 5 intervalos de amostragem. A partir desse ponto os ganhos continuam ocorrendo, mas em proporções menores.

A Fig. 8 demonstra o ganho obtido (em dias) na duração da RSSF com a adição dos intervalos.

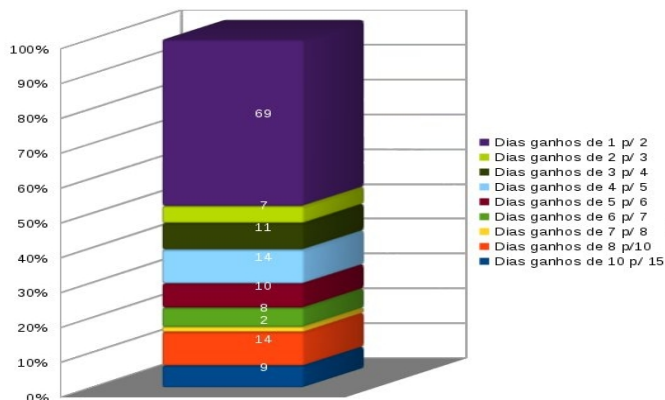


Figura 8. Ganho obtido em dias entre os diferentes números de intervalos de amostragem.

Deve-se atentar para o ganho de 14 dias ocorrido entre as simulações com 8 e 10 intervalos, enquanto as simulações anteriores variavam entre si com a diferença de uma unidade na quantidade de intervalos de amostragem, nesta são duas unidades. A mesma análise deve ser feita para a variação entre as simulações com 10 e 15 unidades de intervalos de amostragem, o ganho ocorrido nesse caso (de 9 dias) é menor em relação às simulações com menos número de intervalos, pois há uma diferença nesse caso de 5 unidades.

A configuração dos intervalos de amostragem é determinante na definição do ganho no tempo de vida da RSSF em relação à utilização de um intervalo fixo. Intervalos com maior duração representam maior economia de energia dos nós sensores, entretanto correspondem a um monitoramento menos preciso. É necessário balancear os dois aspectos com foco na aplicação da rede de sensores.

V. CONCLUSÃO

As RSSF têm apresentado potencial de aplicação em diversas áreas. Entretanto, um dos seus principais desafios é a economia de energia sem que isso signifique perda de eficiência da rede de sensores. Para aplicações que não exigem um monitoramento com alta frequência de coleta de dados, como no monitoramento ambiental e na coleta de dados em agricultura de precisão, pode-se considerar uma estratégia em que o intervalo entre as amostragens dos dados seja longo, enquanto as informações obtidas estiverem dentro de um padrão esperado. Ao ocorrer fenômenos fora desse padrão, então a rede se ajusta, de maneira autônoma, de modo a monitorar o evento com mais acuidade. Essa estratégia representa uma importante economia de energia e significa um maior tempo de vida útil da RSSF.

Este trabalho apresentou um AA capaz de modificar, de maneira autônoma, a configuração do tempo de intervalo entre uma amostra e outra em um nó sensor em uma RSSF.

Os ganhos obtidos em relação a eficiência energética da rede de sensores, promovida pela estratégia utilizada no AA, puderam ser verificadas por meio de simulação computacional.

Além disso, outros aspectos podem sofrer adaptabilidade, como a própria definição do padrão de normalidade, que pode, por exemplo, oscilar durante diferentes períodos do dia. Ou a definição da duração dos intervalos utilizados pelo AA. Essas perspectivas demonstram que a tecnologia adaptativa apresenta potencial em ser aplicada à área de RSSF.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Mato Grosso – FAPEMAT – pelo apoio a este trabalho via projetos de pesquisa N° 465450/2009 e N° 278718/2010 e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) via programa Doutorado Interinstitucional Escola Politécnica da USP e Universidade Federal de Mato Grosso (EPUSP-UFMT).

REFERÊNCIAS

- [1] I. F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, E. Cayirci. "Wireless sensor networks: a survey", *Computer networks*, 38, p.393-422, 2002.
- [2] M. Tubaishat, S. Madria. "Sensor networks: an overview". *IEEE Potentials*, 22 (2), 2003.
- [3] P. Gajbhiye, A. Mahajan. "A survey of architecture and node deployment in Wireless Sensor Network." In: *Applications of Digital Information and Web Technologies, ICADIWT*, p.426-430, 2008.
- [4] D. Estrin, L. Girod, G. Pottie, M. Srivastava. "Instrumenting the world with wireless sensor networks." In: *International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, Salt Lake City, USA, 2001.
- [5] G. J. Pottie, W. J. Kaiser. "Wireless integrated network sensors." *Communications of the ACM* 43, p.51-58, 2000.
- [6] D. Estrin, R. Govindan, J. Heidemann, S. Kumar. "Next century challenges: Scalable coordination in sensor networks." In: *Proceedings of the Fifth Annual International Conference on Mobile Computing and Networks, MobiCom '99*, Seattle, Washington, USA, ACM Press, 1999.
- [7] J. J. Neto. "Adaptive rule-driven devices – general formulation and case study" *Revised Papers from the 6th International Conference on Implementation and Application of Automata, CIAA 2001*, London, UK: Springer-Verlag, 2002, pp. 234-250, ISBN 3-540-00400-9.
- [8] J. P. Molin, "Tendências da agricultura de precisão no Brasil". In: *Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão, 2004*. Anais do Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão - ConBAP 2004. Piracicaba, p. 1-10, 2004.
- [9] I. M. Santos, M. A. Dota, C. E. Cugnasca. "Visão Geral da Aplicabilidade de Redes de Sensores Sem Fio no Monitoramento Agrícola no estado de Mato Grosso". In: *Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão, 2010*. Anais do Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão – ConBAP 2010. Ribeirão Preto/SP, 2010.
- [10] J. C. C. Benavente, C. E. Cugnasca, H. P. SANTOS. "Um Estudo da Variabilidade Microclimática em um Vinhedo Cultivado sob Cobertura Plástica Mediante o uso de uma Rede de Sensores Sem Fio". In: *Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão, 2010*. Anais do Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão - ConBAP 2010. Ribeirão Preto/SP. 2010.
- [11] L. D. Jesus, D. G. D. Santos, A. A. D. Castro, H. Pistori. "AdapTools 2.0: Implementation and Utilization Aspects." *IEEE Latin America Transactions*. 5, 527-532, 2007.
- [12] J. C. C. Benavente. *Monitoramento ambiental de vinhedos utilizando uma Rede de Sensores Sem Fio que coleta dados com um intervalo de amostragem variável*. São Paulo: USP, 2010. Dissertação de mestrado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.



Carlos Eduardo Cugnasca é graduado em Engenharia de Eletricidade (1980), mestre em Engenharia Elétrica (1988) e doutor em Engenharia Elétrica (1993). É livre-docente (2002) pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP). Atualmente, é professor associado da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, e pesquisador do LAA - Laboratório de Automação Agrícola do PCS - Departamento de Engenharia de Computação e Sistemas Digitais da EPUSP. Tem experiência na área de Supervisão e Controle de Processos e Instrumentação, aplicadas a processos agrícolas e Agricultura de Precisão, atuando principalmente nos seguintes temas: instrumentação inteligente, sistemas embarcados em máquinas agrícolas, monitoração e controle de ambientes protegidos, redes de controle baseados nos padrões CAN, ISO11783 e LonWorks, Redes de Sensores Sem Fio e computação pervasiva. É editor da Revista Brasileira de Agroinformática (RBIAgro).



Ivairton Monteiro Santos é graduado em Ciência da Computação pela Universidade Federal de Mato Grosso (2002) e mestre em Ciência da Computação pela Universidade Federal Fluminense (2005). Atualmente é aluno de doutorado da Escola Politécnica da USP, sob a orientação do Prof. Dr. Carlos Eduardo Cugnasca. É membro do Laboratório de Automação Agrícola da Escola Politécnica da USP e professor da Universidade Federal de Mato Grosso, no Campus Universitário do Araguaia. Tem experiência na área de Ciência da Computação e seus interesses em pesquisa concentram-se em Redes de Sensores Sem Fio e otimização combinatória.



Mara Andrea Dota é graduada em Ciência da Computação pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (1998) e mestre em Ciências da Computação e Matemática Computacional pela Universidade de São Paulo (2001). Atualmente é aluna de doutorado da Escola Politécnica da USP, sob a orientação do Prof. Dr. Carlos Eduardo Cugnasca. É membro do Laboratório de Automação Agrícola da Escola Politécnica da USP e professora da Universidade Federal de Mato Grosso no Campus Universitário de Rondonópolis/MT. Tem experiência na área de Ciência da Computação e seus interesses em pesquisa concentram-se em Redes de Sensores Sem Fio, avaliação de desempenho e Sistemas Distribuídos.