

# WSN experiment and a grid-based network architecture proposal

Fauzi de M. Shubeita, Leonardo A. Amaral, César Marcon  
GSE – Pontifícia Universidade Católica do RS  
Porto Alegre, Brasil  
fauzi.shubeita@acad.pucrs.br

Antônio Rodrigo Delepiane de Vit  
UFSM – Frederico Westphalen, Brasil  
rodrigodevit@cafw.ufsm.br

**Abstract** – This paper presents an experiment using a Wireless Sensor Network (WSN) in a rural area with focus on precision agriculture. The experiment lasted 90 days and during this time several events were analyzed highlighting the quality of the communication and events of the environment that affected the normal operation of the WSN. This experiment was the starting point for the proposition of a communication architecture model applied to WSN based on Grid.

**Keywords:** WSN, Grid, Protocols

## I. INTRODUÇÃO

Rede de Sensores Sem Fio (RSSF) é uma arquitetura estratégica de sistema de monitoramento e comunicação para automatizar o controle e a supervisão de diversos tipos de ambientes [11, 14]. RSSF tem requisitos específicos de projeto, tais como (i) baixo consumo de energia, devido a seus elementos serem alimentados por bateria e (ii) tratamento específico na transmissão e controle da informação, devido a comunicação sem fio ser sujeita a muitos tipos de interferências.

Para obtenção desses requisitos de projeto, existem diferentes arquiteturas e padrões de protocolos de comunicação que facilitam o desenvolvimento de sistemas para RSSF. Entretanto, as tecnologias existentes não atendem a todas as necessidades das aplicações de RSSF. Principalmente, devido a grande diversidade dos ambientes de negócio com seus elementos e características particulares, sejam ambientes de espaços urbanos ou rurais e com ou sem acessibilidade garantida.

O ponto de partida deste trabalho foi o desenvolvimento e a implantação de um sistema de RSSF instalado como experimento em um ambiente rural para o monitoramento de uma área de lavoura irrigada coletando dados de umidade do solo. Esse experimento reportou eventos que interferem consideravelmente na tomada de decisão, pois revelam deficiências no sistema em termos de confiabilidade e qualidade de serviço.

Através de uma análise do comportamento da rede no ambiente operacional, este trabalho propõe um modelo de

Grades para sistemas de RSSF. Neste modelo o agrupamento de nodos em setores será organizado de forma que cada elemento que compõem o setor seja capaz de automatizar a tomada de decisão no atendimento de demandas específicas da aplicação. O restante do artigo está organizado da seguinte maneira. A Seção II apresenta uma breve fundamentação teórica. A Seção III apresenta o experimento realizado e seus resultados preliminares. A Seção IV apresenta o modelo proposto. E por fim, a Seção V encerra o artigo com considerações finais.

## II. TRABALHOS RELACIONADOS

Sistemas de RSSF são implantados em ambientes de monitoramento, observação biomédica, vigilância, segurança entre outras áreas de aplicação. Uma RSSF é responsável por monitorar e atuar sobre determinado ambiente repassando os dados coletados para um nodo concentrador o qual usualmente está fisicamente distante dos elementos do ambiente considerados como fontes de dados [7].

Segundo Cordeiro e Agrawal [8], uma RSSF é caracterizada por possuir topologia dinâmica de rede, largura de banda e capacidade de energia limitada, além de segurança e disposição física descentralizada. No âmbito das RSSF, podem-se destacar as redes de comunicação de dados de área pessoal com baixa taxa de transmissão de dados (*Low Rate-Personal Area Network - LRPAN*), e as camadas básicas definidas no padrão IEEE 802.15.4 [9,10]. LRPAN é um tipo de tecnologia de rede utilizada para prover conectividade sem fio e apresentam baixa complexidade de desenvolvimento, baixo consumo de energia e baixo custo financeiro, além de simplificar o gerenciamento de dados e o controle da topologia da rede. A comunicação em LRPAN pode ser mono ou multicanal, dependendo da aplicabilidade e do meio a ser monitorado [12].

O padrão IEEE 802.15.4 oferece a base para desenvolver uma modalidade de rede sem fio para ambientes pessoais (*Wireless Personal Area Network - WPAN*) e é caracterizado por apresentar baixo custo de comunicação e baixa velocidade de transmissão de dados e comunicação onipresente entre os dispositivos. A norma IEEE 802.15.4 define apenas as duas camadas mais baixas da arquitetura OSI, ou seja, a camada física e a camada de controle de acesso ao meio (MAC).

Existem diversas propostas como o uso de múltiplos domínios [4] de aplicação ou protocolos de comunicação que utilizam estratégias que buscam aumentar o tempo de vida da

Financial support granted by CNPQ and FAPESP to the INCTSEC (National Institute of Science and Technology Embedded Critical Systems Brazil), processes 573963/2008-8 and 08/57870-9.

rede e maximizar a sua eficiência. Um exemplo é o protocolo *Random Walk* [1] que tem como proposta levar um pacote de dados de um nodo sensor até o nodo coletor de dados através de caminhos aleatórios. Este protocolo tem desempenho satisfatório tanto na economia de energia [2], quanto no tempo média de entrega dos pacotes. Entretanto, seu QoS não é escalável pois reduz a qualidade de serviço conforme o crescimento da rede.

Já em relação à localização dos pacotes de dados, em [5] os autores propõem a busca através de métodos para a localização de informações na rede, definindo que tanto o nodo origem quanto o nodo destino deixem um anúncio “marcando” os nodos de passagem para localizar o destino. Neste modelo de funcionamento nós destacamos os algoritmos *Rumor Routing (RR)* [6] e o *Zonal Rumor Routing (ZRR)* [13]. A diferença entre eles é que o ZRR divide a rede em quadrantes estabelecendo um nodo principal para cada quadrante e permite explorar o conceito de grade em RSSF [3].

No protocolo ZRR, o nodo principal da rede convida, organiza e controla um grupo menor de nodos em um dos quadrantes de zoneamento. O ZRR é um modelo que se aproxima bastante do desejável em áreas densamente monitoradas pois permite abstrair a ideia de zoneamento para qualquer ambiente.

### III. RESULTADOS DO EXPERIMENTO

Utilizou-se o projeto LNK2100 [16] como experimento prático que propõe o desenvolvimento de uma RSSF para coleta de dados voltada à Agricultura de Precisão, mais especificamente em uma lavoura irrigada por aspersão. O LNK2100 é um sistema modular baseado no sistema operacional *TinyOS*, tendo como finalidade estabelecer uma RSSF de modo que todos os nodos sensores possam participar do roteamento de pacotes até um nodo coletor de dados. O sistema é executado em plataforma baseada no TELOSB [15] que utiliza o processador MSP430F5418 [16].

#### A. Plataforma de Software e Hardware utilizada

Nós optamos por utilizar como protocolo base o *Collection Tree Protocol (CTP)* cuja característica básica é fazer com que as mensagens sejam encaminhadas até um nodo coletor utilizando-se o caminho mais curto ou com menor quantidade de saltos. Seu funcionamento baseia-se em criar uma tabela de roteamento utilizando as informações contidas nos pacotes recebidos de outros nodos. Cada nodo elege, dentre os seus nodos vizinhos, um nodo principal que será o roteador de suas mensagens. Caso ao longo do tempo o enlace com o nodo principal fique enfraquecido, este escolherá outro nodo.

Além do CTP também foi utilizado o protocolo *Dissemination*, cuja tarefa é distribuir pequenas quantidades de dados de forma confiável para todos os nodos da rede. Este protocolo permite que diferentes nodos compartilhem uma variável qualquer, podendo, por exemplo, esta ser uma estrutura de dados contendo a configuração atual da rede. Quando é necessário alterar esta variável, o nodo que originou a mudança “dissemina” a nova informação para as demais estações.

Neste experimento foram utilizados seis nodos sensores do tipo HidroFarm HFM1010 [16], cobrindo uma área de 33 hectares contendo no seu centro um pivô de irrigação com raio de 300m. Em relação aos dispositivos de coleta de dados, foi utilizado o modelo concentrador de dados DBX1330 [16] baseado em processadores da série ARM7. Os rádios para comunicação dos nodos são modelos TELOSB com processadores *RISC* de 16 bits e antenas omnidirecionais, operando na faixa de frequência de 415MHz.

#### B. Instalação e Configuração da RSSF

A instalação da RSSF aconteceu no segundo semestre do ano de 2011 seguindo um arranjo conforme apresentado na Figura 1. Além disso, foram definidos também os parâmetros de funcionamento e transmissão de dados, os quais são apresentados na Tabela I.

TABELA I. PARÂMETROS DE CONFIGURAÇÃO DA WSN.

Parâmetros	Configuração padrão
Tipo de antena	Antena de medição
Canal de rádio	1
Período de comunicação	900s (15 minutos)
Tempo de atividade do rádio	4s por coleta
Sensores habilitados	Nível de bateria; Temperatura do sensor; Umidade do solo

A Tabela II apresenta os valores das variáveis monitoradas do ambiente operacional, listando o significado de cada uma e os valores aceitáveis, representando as condições ideais de funcionamento da rede.

TABELA II. VARIÁVEIS UTILIZADAS PARA ANÁLISE DAS CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO DA REDE.

Variável	Descrição
Ciclos	Intervalo de tempo definido pelo administrador da rede para coleta de dados. Um ciclo corresponde ao período de comunicação de 15 minutos
Energia	Nível (%) de energia restante no nodo. 0 - 100%
RSSI	Intensidade do sinal recebido no primeiro salto. Varia de -128 (sinal fraco) a +127 (sinal forte)
LQI	Qualidade do sinal recebido no primeiro salto. Varia de 0 (sinal com baixa qualidade) a 255 (sinal com alta qualidade)

Originalmente, cada nodo possui o seu número de referência identificado com algarismos decimais (2, 12, 27, 33, 34, 36, 38), definido pelo fabricante do hardware. Para um melhor entendimento, esta identificação foi substituída por letras do alfabeto, e o nodo principal foi identificado com a sigla NP (Figura 1).

A disposição dos nodos foi definida seguindo o critério de quadrantes dentro de um espaço esférico delimitado pelo raio de ação do Pivô de Irrigação que, neste caso, é de 300m de cobertura. A topologia utilizada foi em árvore na qual o NP é definido como nodo raiz (Coletor). Os nodos D, E e F foram

posicionados a uma distância de 200m do centro respeitando o limite de raio. Já os nodos B e C (um substituiu o outro no período) ficaram a 9m do centro da área.



Figura 1 Mapa de instalação dos sensores em área agrícola irrigada.

### C. Avaliação do funcionamento da RSSF

A avaliação da rede ocorreu na primavera entre os meses de setembro e novembro e à medida que os dados foram coletados, observou-se que a rede apresentava momentos de instabilidade no seu funcionamento, onde alguns nodos deixavam de funcionar e reiniciavam após um período de tempo. Essas instabilidades foram monitoradas e agrupadas onde se considerou a contagem do total de ciclos de ativação a cada 15 minutos que a rede produziu. Este total de ciclos foi fornecido pelo nodo NP que se manteve operacional em 100% do tempo. A análise de cada nodo em relação ao tempo total de funcionamento é apresentada na tabela III.

TABELA III. TOTAL DE CICLOS DE FUNCIONAMENTO POR NÓ

Coletas	Nodos						
	NP	A	B	C	D	E	F
1 <sup>a</sup>	2074	1883	1159	1511	1551	1450	199
2 <sup>a</sup>	552	552	552	0	552	552	0
3 <sup>a</sup>	1502	1407	0	1132	1497	1486	1128
4 <sup>a</sup>	1523	1345	1521	0	1475	1418	1516
5 <sup>a</sup>	1046	1042	0	981	125	592	991
<b>Total de ciclos</b>	<b>6697</b>	<b>6229</b>	<b>3232</b>	<b>3624</b>	<b>5200</b>	<b>5498</b>	<b>3834</b>
<b>Total de falhas</b>	<b>0</b>	<b>468</b>	<b>3465</b>	<b>3073</b>	<b>1497</b>	<b>1199</b>	<b>2863</b>

Considerando os ciclos totais de funcionamento, destacamos o nodo A que apresenta o menor índice de falhas, ficando inativo por 6,9% do tempo, e o nodo B com o maior índice de falhas, com um total de 51,7% no intervalo de 90 dias.

## IV. MODELO PROPOSTO

Com o resultado do comportamento da RSSF descrito na seção anterior, fica evidente que os problemas de instabilidade de um nodo têm um impacto significativo em toda a rede, pois no momento que um sensor deixa de coletar dados de um

ponto, acaba comprometendo a qualidade dos resultados no restante da rede. Desta forma, se identificou a necessidade de propor um modelo de funcionamento que possa prover mais autonomia de decisão aos nodos da rede.

A proposta é definir setores dentro de uma área que será sensoriada, conforme Figura 3, sendo possível subdividir uma propriedade rural em diversos setores, como por exemplo, áreas de plantio, instalações de armazenamento de grãos, pastagens, produção de leite e manejo animal. Esse modelo pode ser abstraído para qualquer espaço, seja ele urbano ou rural.

### A. Configuração da grade

Conforme apresentado na Figura 2, os elementos que compõe o cenário podem ser descritos como: (i) nodo Principal, (ii) nodo Mestre, (iii) nodo Coletor e (iv) Setor. Os conceitos de nodo Mestre e nodo Coletor são utilizados para hierarquizar a comunicação e definir claramente o papel de cada um dentro da rede. O nodo Principal é o ponto de envio e coleta de dados. Ele concentra todas as informações de configurações e funcionamento da rede, tais como o canal de comunicação (mono ou multicanal), armazenamento dos dados coletados, informações dos setores, nodos Mestres e nodos Coletores, data e hora e os demais parâmetros da rede. Ele pode prover um novo setor, caso um dos nodos Mestres apresentarem uma falha, além de manter um histórico da rede pré/pós-falhas e de possuir recursos computacionais robustos e possuir sistemas de alimentação de energia tolerantes a falhas.

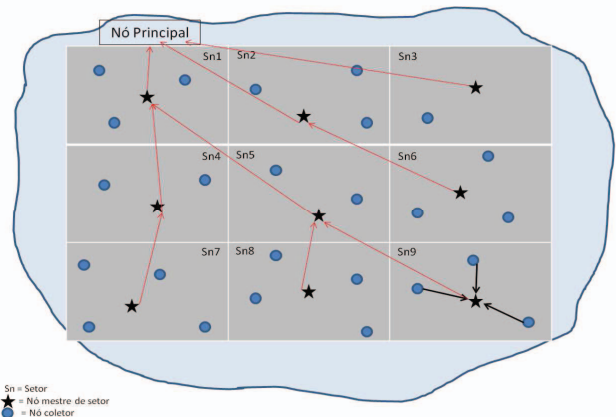


Figura 2 Mapa conceitual proposto para a implementação da RSSF baseada em grades.

O nodo Mestre de cada setor tem a função de gerenciar e transmitir dados coletados pelo seu setor. Para fazer isto, este mantém uma tabela com todos os IDs (identificadores) dos nodos Coletores, além dos valores de identificação de todos os outros Mestres de setor, caso existam. O nodo Mestre é o mais exigido em nível de transmissão e recepção na rede e tem, teoricamente, maior consumo de energia. O nodo Coletor tem como funções coletar e repassar os dados sensorizados ao nodo Mestre do Setor e receber parâmetros de configuração. Mesmo com visada e alcance de transmissão para outros setores, ele se comunica apenas com seu nodo Mestre, garantindo assim a autonomia dos setores.

## B. Estratégias de funcionamento

Em caso de falha do nodo Mestre, o setor é dissolvido e incorporado ao setor do nodo Mestre mais próximo, com a distância mensurada pelos parâmetros de comunicação. O novo nodo Mestre designado pelo nodo Principal é informado da queda do nodo Mestre vizinho, tendo armazenado os parâmetros do setor dissolvido.

Se houver falhas em um nodo Coletor, a regra é o nodo Principal resgatar os valores históricos das medidas realizadas, calcular sua média e fazer uma previsão do comportamento futuro do nodo ausente, baseado nas leituras e médias dos demais nodos.

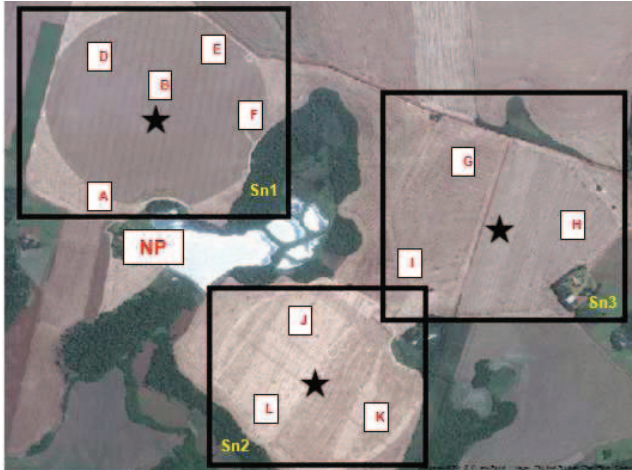


Figura 3 Aplicação do modelo de grade em áreas irrigadas

O que define as características de decisão distribuída dos nodos é a capacidade de reagir a determinados eventos de forma autônoma, mas apoiada em estratégias que permitem continuar a transmissão de dados de forma eficiente e com o menor custo.

## C. Modelos de regras

A Figura 3 demonstra a aplicabilidade do modelo de grade em três áreas irrigadas definidas pelos setores Sn1, Sn2 e Sn3. Cada setor tem o seu nodo Mestre (representados pela estrela) e os nodos Coletores, identificados pelas letras do alfabeto.

Admitindo uma falha no nodo H do setor Sn3, o nodo mestre desse setor deve fazer a detecção do problema e repassar uma notificação para o nodo Principal NP. Se a falha for temporária, considera-se a média histórica das coletas efetuadas como valores de referência para preencher o intervalo de valores do tempo de inatividade. Caso for uma falha permanente, determinada por um tempo de inatividade, o nodo H será desconsiderado dentro do setor até sua reposição.

A energia restante em cada nodo pode ser monitorada e aferida em determinado intervalo de tempo. Caso o nodo Mestre do setor Sn2 estiver com energia igual ou inferior a um limite mínimo pré-definido, o nodo Principal pode decidir por repassar os dados do setor através do nodo Mestre do setor

Sn1. Outra estratégia é eleger um novo nodo Mestre dentro os nodos Coletores restantes.

## V. CONCLUSÃO

Preliminarmente, as vantagens esperadas no uso do modelo de grade são a estabilidade da rede, autonomia dos setores para tomada de decisão, gerenciamento mais efetivo por parte do nodo Principal e uma visão clara dos ambientes monitorados para uma tomada de decisão global. Já as desvantagens do modelo apontam para um maior consumo de energia por parte dos nodos Mestre quando houver falhas que exijam a reorganização de setores. A opção por fazer a avaliação de uma RSSF em ambiente real foi uma tentativa bem sucedida de observar e considerar diversas particularidades da RSSF. Assim, a próxima etapa do nosso trabalho será o desenvolvimento do modelo em simulador para definir e avaliar as regras de funcionamento e tomada de decisão para aferir as estratégias e regras de funcionamento propostas.

## REFERÊNCIAS

- [1] Dhanaphala, D. C., Jayasumana, A. P., Han Q. *On random routing in wireless sensor grids: A mathematical model for rendezvous probability and performance optimization*. Journal Parallel Distributed Computing, Vol. 71, No 3, pp. 369-380. 2011.
- [2] Shakkottai, S. *Asymptotics of Search Strategies Over a Sensor Network*. IEEE Transactions on Automatic Control, Vol. 50, No 5, 2005
- [3] Banimelhem, O. Khasawneh, S. *GMCAR: Grid-based multipath with congestion avoidance routing protocol in wireless sensor networks*. Ad-hoc Networks, 2012
- [4] Bicakci, K., Tavli, B. *Prolonging network lifetime with multi-domain cooperation strategies in wireless sensor networks*. Ad-Hoc Networks, Vol. 8-10, pp. 582-596, 2010.
- [5] Mabrouki, I., Froc G., Lagrange X. *Biased Random Walk Model to Estimate Routing Performance in Sensor Networks*. 9ème Rencontres Francophones sur les Aspects Algorithmiques des Télécommunications, Ile d'Oléron : France, 2007.
- [6] Braginsky, D., Estrin D. *Rumor Routing Algorithm for sensor network*. WSN '02 Proceedings of the 1st ACM international workshop on Wireless sensor networks and applications, pp. 22-31, 2002.
- [7] Akyildiz, I. e Wang, X. *A Survey on Wireless MESH Networks*. In: IEEE Communications Magazine, V. 43, i. 9, pp. S23-S30, 2005.
- [8] Cordeiro, C. e Agrawal, D. *Mobile Ad hoc Networking*. In: XXº Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores, pp. 125-186. 2002
- [9] IEEE Part 15.4: *Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs)*.
- [10] Li-Chi F.; Hsin-Yang C.; Tsung-Hsien L.; Jr-Jung C.; Chung-Chiu S. *Design and Implementation of an IEEE 802.15.4 Protocol Stack in Embedded Linux Kernel*. Advanced Information Networking and Applications Workshops (WAINA), 2010 IEEE 24th International Conference pp.251-256, 20-23 April 2010.
- [11] Oliveira, E. C. R. *Avaliação de Protocolos para Redes de Sensores e Redes Ad Hoc Aplicados a TV Digital Interativa*. UFF, Niterói RJ.2006
- [12] Incel, O. D. *A survey on multi-channel communication in wireless sensor networks*. Computer Networks, pp. 3081-3099, 2011
- [13] Banka, T. Tandon, G., Jayasumana, A.P. *Zonal Rumor Routing for wireless sensor networks*. ITCC, Vol. 2, pp. 562-567, 2005
- [14] Liu, H., Bolic, M, Nayak, A., Stojmenovic, I. *Taxonomy and Challenges of the Integration of RFID and Wireless Sensor Networks*. IEEE Network, Vol. 22-6, pp. 26-35, 2008.
- [15] Crossbow, *TELOSB Mote Platform*. 2009.
- [16] Pohren, F. e Lange, A. *Arquitetura de Software – Software Embarcado LNK2100*, 2009.